



**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil

2013

**RODRIGO  
CRUZ  
CARVALHO**

**CARACTERIZAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE  
ESTRUTURAS EM ALVENARIA DE ADOBE**





Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil

2013

**RODRIGO  
CRUZ  
CRVALHO**

## **CARACTERIZAÇÃO DE COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS EM ALVENARIA DE ADOBE**

Dissertação de Tese de Mestrado a apresentar à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Aníbal Guimarães Costa, professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e co-orientação científica do Doutor Humberto Salazar Amorim Varum, professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



**o júri**  
presidente

**Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa**  
professor associado da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor João Paulo Miranda Guedes**  
professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Prof. Doutor Aníbal Guimarães Costa**  
professor catedrático da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

O desenvolvimento e a motivação deste trabalho não seria possível sem o apoio de diversas pessoas a quem não poderia deixar de agradecer.

Aos orientadores, Prof. Aníbal Costa e Prof. Humberto Varum, pela transmissão de conhecimento, oportunidades e conselhos sempre úteis que permitiram resolver os problemas que foram surgindo.

Ao Bruno Lobo por todo o companheirismo, paciência e esclarecimentos feitos desde o primeiro bloco assente até ao último ponto final.

Às empresas STAP, STBA, Teclena e Grupo Dryas Octopetala. Município de Aveiro e Junta da Freguesia da Glória – Aveiro.

A todos os que acompanharam e ajudaram em laboratório, entre eles, António Figueiredo, Fábio Garcia, José Melo, Vítor Rodrigues e Eng<sup>a</sup>. Maria Carlos.

À Associação Académica da Universidade de Aveiro onde tive a oportunidade de aprender importantes valores.

A todos os amigos do DECivil pela forma direta ou indireta que ajudaram na concretização deste projeto, em especial ao Açores, Catarina, Bruno, Carvalhais, Pika, Ukra, Tião, Fábio, Gatas e Élio.

Aos restantes amigos da UA Sónia, Daniela, Inês, Maria, Beto, Andreia e Gustavo.

Aos meus pais e irmão, por todo o esforço que me permitiu chegar até aqui.

Um profundo agradecimento.





**palavras-chave**

Alvenaria de Adobe; Caracterização estrutural; Modelo à escala real.

**resumo**

A técnica construtiva de alvenaria de adobe foi largamente utilizada nas construções tradicionais da região de Aveiro durante o século XIX até meados do século XX. Neste sentido, o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro tem vindo a desenvolver diversos trabalhos de investigação de caracterização mecânica deste tipo de alvenarias como suporte às ações de conservação, reabilitação e reforço deste vasto património edificado.

Na sequência de investigações até aqui realizadas, foi construído em laboratório um modelo de uma estrutura em adobe, à escala real, submetido posteriormente a um carregamento cíclico, com o objetivo de caracterizar o comportamento deste tipo de alvenaria, quando submetida a ações horizontais. O modelo foi ensaiado ciclicamente na direção das paredes de maior dimensão, sendo que uma destas paredes possuía uma abertura tipo janela. Desta forma foi possível comparar o desempenho da parede de adobe com e sem abertura.

Com base nos resultados deste ensaio é possível caracterizar o desempenho destas construções, nomeadamente no que concerne à sua vulnerabilidade sísmica, podendo ser extrapolados para edifícios reais, de maiores dimensões e com geometrias mais complexas, quando sujeitos a ações sísmicas.



**keywords**

Adobe Constrution; Structural Characterization; Full scale model.

**abstract**

The adobe construction was extensively used in traditional buildings of Aveiro region during the XIX century until the mid- twentieth century. In this way, the Department of Civil Engineering, University of Aveiro has developed various research of mechanical characterization about this type of masonry, to support the actions of conservation, rehabilitation and strengthening of this vast architectural heritage.

As a result of investigations carried out so far, a full scale model of an adobe structure was built, and then subjected to a cyclic loading, in order to characterize the behavior of this type of masonry when subjected to horizontal actions. The model was tested cyclically toward the larger walls, and one of these walls has an opening - type window. Thus it was possible to compare the performance of the adobe wall with and without opening. Based on the results of this test it is possible to characterize the performance of these buildings, particularly in relation to their seismic vulnerability.

The results can be used to predict the behavior of real buildings, larger and more complex geometry and structure, due to horizontal actions as those induced by an earthquake.



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABELAS.....	xix
1 INTRODUÇÃO.....	3
1.1 Enquadramento .....	3
1.2 Motivação .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.4 Estrutura da dissertação .....	5
2 CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM TERRA .....	9
2.1 Construção em alvenaria de terra .....	9
2.2 A região de Aveiro.....	13
2.2.1 Produção de blocos de adobe .....	14
2.2.2 Património Arquitetónico .....	15
2.2.3 Degradação do património.....	16
2.3 Propriedades particulares da alvenaria de adobe .....	18
2.3.1 Vulnerabilidade sísmica .....	20
2.3.2 Ação sísmica na alvenaria de adobe.....	23
2.4 Trabalhos laboratoriais antecedentes .....	25
3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E DO MODELO À ESCALA REAL .....	29
3.1 Projeto do modelo de adobe à escala real .....	29
3.2 Caracterização dos materiais .....	32
3.2.1 Blocos de adobe .....	32

3.2.2	Argamassas.....	33
3.3	Construção do modelo.....	35
3.4	Instrumentação e equipamento de monitorização.....	38
4	RESULTADOS DO ENSAIO .....	45
4.1	Deslocamento Global.....	45
4.2	Evolução dos danos e comportamento no plano das paredes .....	47
4.3	Deslocamento Lateral .....	51
4.4	Levantamento da Base.....	52
4.5	Frequências naturais.....	54
4.6	Energia dissipada .....	56
5	SOLUÇÃO DE REFORÇO.....	61
5.1	Técnicas e materiais.....	61
5.2	Intervenção .....	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	69
6.1	Trabalhos Futuros .....	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
	Anexo A.....	79
	Anexo B.....	82
	Anexo C.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Construção em terra no mundo (CRATerre – 2012) .....	10
Figura 2 – Construções em terra: a) Cidade de Shibam no Iémen (theitineraries.com - 2013) b) Muralha da China .....	11
Figura 3 - Casas colmeia na Síria (greenprophet.com – 2013).....	11
Figura 4 - Construção de um parque desportivo no México (Caeiro – 2013).....	12
Figura 5 - Técnicas construtivas em terra em diferentes zonas de Portugal (tabiquesdoaltotamega.blogs.sapo.pt – 2012) .....	13
Figura 6 - Produção de adobe: a) Moldagem b) Cura (Zomá -2013).....	14
Figura 7 - Construção em adobe em Aveiro (Oliveira -2009).....	15
Figura 8 - Exemplos de Arte Nova em Aveiro: a)Museu da Cidade b) Tribunal de Menores (Oliveira – 2009) .....	16
Figura 9 - Degradação do edificado em adobe.....	17
Figura 10 - Casa Major Pessoa: a) Antes da intervenção b) Depois da intervenção (Oliveira -2009).....	17
Figura 11 - Registo térmico numa habitação de adobe: a) No interior da habitação b) No exterior da habitação (Sampaio – 2013) .....	18
Figura 12 – Santuario Madonna delle Lacrime em Itália (Serino – 2011) .....	21
Figura 13 - Sistema de amortecedores: a) Amortecedor b) Direção dos deslocamentos (Serino – 2011) .....	21
Figura 14 - Técnicas de reforço em estruturas de adobe: a) Bambu (Dowling – 2005) b) Malha geossintética (Figueiredo – 2009) .....	22
Figura 15 - Sismo nos Açores em 1998.....	23
Figura 16 – Erros correntes em construções de adobe (Peña – 2008) .....	24
Figura 17 - Fissuração nos cunhais: a) Forças de corte b) Forças fora do plano (Costa – 2013).....	24
Figura 18 - Colapso para fora do plano: a) Derrube local b) Derrube global (Costa - 2013) .....	25
Figura 19 - Fissuração: a) No plano da parede b) Fragilização dos cunhais (Costa - 2013) .....	25

Figura 20 - Ensaios em muretes de adobe: a) Ensaio em compressão diagonal b) Ensaio em compressão perpendicular (Henrique – 2008) .....	26
Figura 21 - Esquema do ensaio cíclico (Henrique – 2008) .....	26
Figura 22 - Parede em forma de I: a) Parede finalizada b) Esquema do ensaio (Henrique – 2008).....	27
Figura 23 - Projeto do modelo de adobe (Fachada Sul/Este).....	30
Figura 24 - Projeto do modelo de adobe (Fachada Norte/Oeste) .....	30
Figura 25 - Orientação e designações do modelo de adobe .....	31
Figura 26 - Blocos de adobe para a construção: a) Muro de adobe de onde se retiraram os blocos b) Blocos de adobe utilizados na construção.....	32
Figura 27 - Ensaio em flexão dos blocos de adobe .....	33
Figura 28 - Ensaio a provetes de argamassa: a) Ensaio em flexão b) Ensaio em compressão .....	34
Figura 29 - Ensaio de compressão dos provetes cilíndricos .....	34
Figura 30 - Fundações do modelo: a) Sapata de betão armado b) Início da construção....	35
Figura 31 - Pormenores construtivos: a) Modelo sem reboco b) Padieira .....	36
Figura 32 - Acabamento do modelo: a) Aplicação do reboco b) Modelo rebocado .....	36
Figura 33 - Viga de betão armado: a) Construção b) Acessórios para a realização do ensaio .....	37
Figura 34 – Modelo finalizado .....	37
Figura 35 - Equipamento de monitorização: a) Célula de carga b) Acelerómetro c) Sensor de fio d) Servo-atuador 300 MPa e) Potenciómetros Gefran f) LVDT.....	39
Figura 36 - Posição do equipamento de monitorização: a) Fachada Este b) Fachada Norte c) Fachada Oeste d) Fachada Sul .....	41
Figura 37 – Estrutura de suporte de alumínio.....	41
Figura 38 - Localização das células de carga .....	42
Figura 39 - Gráfico força / deslocamento.....	45
Figura 40 - Fissuração após o primeiro ciclo: a) Fachada Este b) Fachada Norte c) Fachada Oeste d) Fachada Sul .....	47



Figura 41 - Fissuras resultantes do 1º Ciclo: a) Interior da fachada Norte b) Exterior da fachada Sul.....	48
Figura 42 - Fissuração no final do ensaio: a) Fachada Este b) Fachada Norte c) Fachada Oeste d) Fachada Sul .....	49
Figura 43 - Fissuras resultantes do Ensaio: a) Exterior da fachada Norte b) Exterior da fachada Sul.....	49
Figura 44 - Desalinhamento da estrutura.....	50
Figura 45 - Danos na parede em I.....	50
Figura 46 - Deslocamento lateral nos cunhais .....	51
Figura 47 - Vista do topo do deslocamento lateral (ampliação x20): a) <i>Drift</i> = 1.9% momento de rotura b) <i>Drift</i> = 3.0%.....	52
Figura 50 - Levantamento da base .....	53
Figura 51 - Levantamento da base: 1º deslocamento.....	53
Figura 52 - Levantamento da base: Deslocamento final .....	53
Figura 53 - Gráfico de leituras das frequências naturais: a) Direção Norte - Sul b) Direção Este - Oeste.....	54
Figura 54 - Acelerómetro ótico.....	55
Figura 55 - Gráfico dissipação de energia ao longo do tempo .....	56
Figura 56 - Calda de cal hidratada .....	62
Figura 57 - Rede geossintética: a) Esquema de ensaio em tração b) Gráfico Tensão vs Deformação (Figueiredo – 2009).....	62
Figura 58 - Bucha plástica .....	63
Figura 59 - Processo de selagem: a) Abertura das fissuras b) Selagem com argamassa de cal.....	64
Figura 60 - Processo de injeção .....	64
Figura 61 - Reparação do modelo com rede geossintética: a) Fachada Sul b) Fachada este c) Fachada Norte d) Fachada Oeste.....	65
Figura 62 - Granulometria da areia .....	84



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características médias dos blocos de adobe .....	33
Tabela 2 - Designação do equipamento de monitorização .....	40
Tabela 3 - Comparação do comportamento global.....	46
Tabela 4 - Leituras das frequências naturais ao longo do ensaio .....	54
Tabela 5 - Variação das frequências naturais .....	56
Tabela 6 - Resultados Tensão vs Deformação (Figueiredo - 2009) .....	63
Tabela 7 - Dimensões e peso específico dos adobes .....	79



---

# *Capítulo 1*

## *Introdução*



# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo pretende situar o tema a abordar nesta dissertação: caracterização de comportamento de estruturas em alvenaria de adobe. Posteriormente, apresentar-se-ão os objetivos a alcançar, bem como a organização do documento.

## 1.1 Enquadramento

Portugal é um país caracterizado pela construção em terra, nomeadamente na beira litoral e zona sul do país, devido à sua fraca abundância rochosa. Esta técnica construtiva era utilizada quer pela sua simplicidade, quer pelo fácil acesso aos seus materiais constituintes e à abundância dos mesmos.

No entanto, este tipo de construção sofreu uma enorme estagnação desde meados do século XX, tendo-se optado por métodos mais industrializados, tais como o betão armado e o tijolo cozido. Contudo, ainda se encontram aglomerados de habitações em terra em total funcionamento, tendo os edifícios emblemáticos o maior destaque, estando geralmente inseridos nos centros históricos das cidades. No distrito de Aveiro, uma zona de grande produção de adobes, cerca de 40% do edificado são construções deste género, o que representa uma percentagem bastante significativa.

Atualmente existe um elevado número de edifícios deste género em Portugal carentes de manutenção, ou até mesmo de uma intervenção mais profunda a nível de reabilitação. Apesar de Portugal ser um país inserido numa região na qual o fator de risco sísmico em projetos de construção é considerado, as técnicas utilizadas na alvenaria de adobe não garantem atualmente uma resposta segura perante solicitações sísmicas. Desta forma, estes edifícios devem sofrer intervenções satisfazendo estas exigências de modo a garantir a segurança da população.

É neste campo que se têm vindo a desenvolver estudos e ensaios de forma a caracterizar a construção tradicional em terra, analisando o seu comportamento face a solicitações sísmicas. A par com esta realidade controversa, juntam-se também alguns problemas inatos do material, tais como a elevada massa dos blocos de adobe, a baixa resistência em tração, o comportamento frágil e a alteração das características físicas do bloco com as variações de humidade. Na ausência de qualquer reforço, solicitações horizontais de intensidade relevante provocam elevados danos neste tipo de estruturas, que podem conduzir ao seu colapso, o que poderá implicar perda de vidas humanas. São inúmeras as catástrofes que já se registaram, onde o colapso de estruturas deste género provocou a maior quantidade de vítimas.

Face a esta realidade, justifica-se a investigação nesta área da engenharia civil, dando continuidade a estudos já existentes sobre a caracterização de estruturas de adobe, que complementem informações sobre as suas propriedades, como é o exemplo de rigidez, ductilidade, modos de rotura e capacidade de absorção de cargas, possibilitando não só prevenir a alta fragilidade das edificações deste género, mas também conservar o património arquitetónico e cultural.

## **1.2 Motivação**

A falta de códigos e normas construtivas para projetos em terra tem sido um grande entrave ao desenvolvimento deste tipo de construção tradicional, sendo esta facilmente substituída por técnicas construtivas mais industrializadas. Além desta perda de identidade na construção em determinadas zonas, a falta de manutenção das que até agora sobrevivem levam a estados de degradação que comprometem a segurança estrutural, colocando assim a população em situação de risco. Aliada a esta problemática acresce ainda a fraca resposta dos materiais a solicitações sísmicas.

Com o desenvolvimento desta investigação pretende-se contribuir para o desenvolvimento de estudos que permitem caracterizar as construções em terra perante



atividades sísmicas, contribuindo para a minimização das perdas não só de edifícios, mas também de todas as consequências que daí advenham.

### **1.3 Objetivos**

Nesta dissertação, o grande objetivo é o estudo do comportamento de uma estrutura de adobe perante a atuação de deslocamentos externos. Os deslocamentos serão feitos apenas num só plano de um modelo à escala real, através de um atuador hidráulico, onde serão analisados e avaliados os danos ao longo dos deslocamentos impostos.

### **1.4 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, cada um deles dividido em diversos subcapítulos, e por fim encontram-se os anexos.

No presente capítulo “Introdução”, faz-se o enquadramento do tema que será discutido ao longo desta dissertação, a motivação da investigação e por fim os objetivos que se propõem alcançar.

No segundo capítulo faz-se uma exposição sobre a construção em terra, onde se apresenta o estado de arte das técnicas construtivas em alvenaria de terra no mundo, com especial atenção à região de Aveiro. São também apresentados alguns dos resultados de estruturas deste tipo depois de sofrerem uma solicitação sísmica.

O terceiro capítulo caracteriza o modelo que foi sujeito a ensaio, começando por expor o projeto prévio do modelo, depois todo o procedimento construtivo, desde as fundações aos acabamentos, os detalhes das propriedades dos materiais utilizados e todo o equipamento de monitorização para a realização do ensaio cíclico na estrutura de adobe.

O quarto capítulo descreve todos os resultados do ensaio cíclico. Estão apresentados esquemas de deslocamentos assim como os respetivos gráficos resultantes das leituras dos sensores aplicados.

O quinto capítulo pretende introduzir o conceito de reforço estrutural, onde se apresenta um procedimento para reparação dos danos e respetivo reforço, para que seja elaborado um plano na mesma linha de investigação.

No sexto e último capítulo fazem-se as conclusões do estudo, onde se discute os resultados provenientes do ensaio e fazem-se também propostas para trabalhos futuros aplicáveis no modelo de adobe que aqui se encontra em estudo.

Por fim, os anexos apresentam ensaios integrais feitos aos materiais construtivos, as argamassas e os blocos de adobe, e mostram também o mapa de danos detalhado do modelo.

---

## *Capítulo 2*

### ***Caracterização da Construção em Terra***



## **2 CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM TERRA**

Ao longo dos tempos a construção em terra marcou civilizações que até aos dias de hoje perduram. Neste capítulo são apresentadas as áreas geográficas no globo onde a construção em terra é ainda hoje a técnica construtiva predominante, dando-se também ênfase à construção em Portugal, nomeadamente à região de Aveiro. São ainda referidas as técnicas mais comuns de construção em alvenaria de terra e expõem-se todas as suas vantagens e desvantagens, fazendo também o enquadramento da localização de Portugal no globo e consequente vulnerabilidade sísmica.

### **2.1 Construção em alvenaria de terra**

Desde os primórdios que a construção em terra é uma das técnicas construtivas presentes na sociedade humana, tanto devido à sua simplicidade de execução como à abundância e fácil acessibilidade a este recurso natural. Tendo em conta esta realidade histórica e as diversas evoluções construtivas ao longo dos séculos, maioritariamente nos materiais utilizados na construção, verifica-se que ainda existem vastas áreas do globo onde é possível encontrar construção em terra. Estas encontram-se sobretudo nos países em desenvolvimento, desempenhando diversas funções, tais como habitação, muros de suporte, poços, armazenagem ou mesmo para fins de práticas religiosas (Figura 1). Algumas delas procuram-se preservar devido ao seu elevado valor histórico, cultural ou arquitetónico. Contudo, resistindo às novas práticas construtivas, especula-se que cerca de 30% da população mundial ainda viva em habitações desta natureza, na sua grande maioria em zonas rurais e pelo menos 20% em ambientes urbanos.

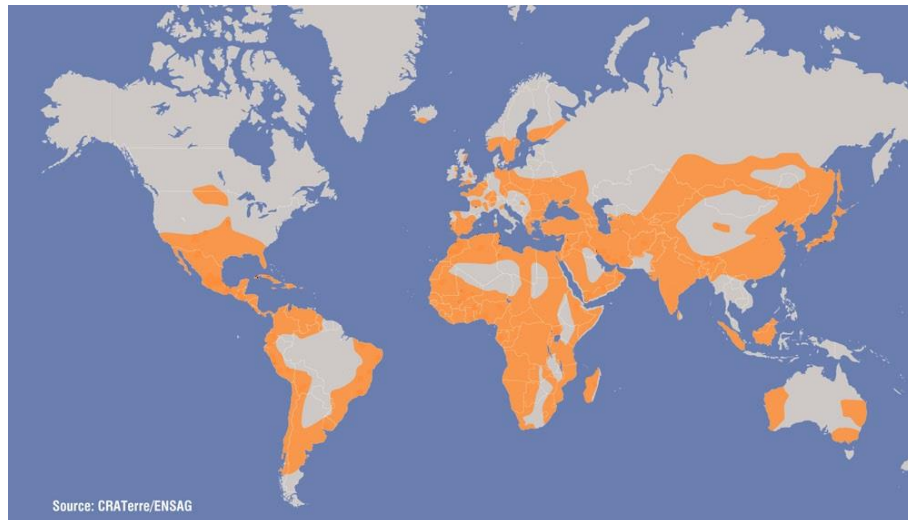


Figura 1 - Construção em terra no mundo (CRATerre – 2012)

Apesar de não ser um material construtivo com grande resistência mecânica e química, existem inúmeras provas de construções que atravessaram séculos e milênios e ainda hoje se apresentam em total funcionamento.

Shibam no Iémen foi construída no século XVI, encontrando-se localizada numa região de clima húmido. Esta cidade histórica alberga 500 edifícios feitos em terra onde se podem encontrar alguns com alturas equivalentes a prédios de 10 andares, marcando o que se pensa ser o início do planeamento de cidades verticais (Figura 2). A grande muralha da China é constituída por diversos materiais, entre eles a terra, utilizando a taipa como técnica construtiva, que superou inúmeras guerras ao mesmo tempo que funcionava como uma rota segura para o transporte de mercadorias. Atualmente recebe milhares de turistas diariamente, nunca deixando de manter toda a sua integridade.



a)



b)

Figura 2 – Construções em terra: a) Cidade de Shibam no Iémen (theitineraries.com - 2013) b) Muralha da China

As “*beehive*” na Síria são um claro exemplo de construção em terra capaz de atravessar milénios. Datadas de 3700 a.C., são caracterizadas pela sua forma em colmeia, onde as paredes espessas permitem uma temperatura confortável no interior, durante todo o ano, naquele que é um dos locais da terra onde se atingem temperaturas mais elevadas (Figura 3).



Figura 3 - Casas colmeia na Síria (greenprophet.com – 2013)

Atualmente, além da reabilitação do património existente, constrói-se em alvenaria de terra numa vertente mais sustentável por todo o mundo, onde se procura combinar a terra com outros recursos naturais, como por exemplo o bambu. No México, construções recentes mostram como é possível a utilização da alvenaria de terra em conjunto com outros materiais, sejam eles sustentáveis como o bambu, ou mais industrializados como o metal, provando que é possível uma interação de modo harmonioso e compatível.



a)



b)

Figura 4 - Construção de um parque desportivo no México (Caeiro – 2013)

Em Portugal, existem diversas técnicas de construção em terra, variando consoante a região e a matéria-prima mais abundante (Figura 5).



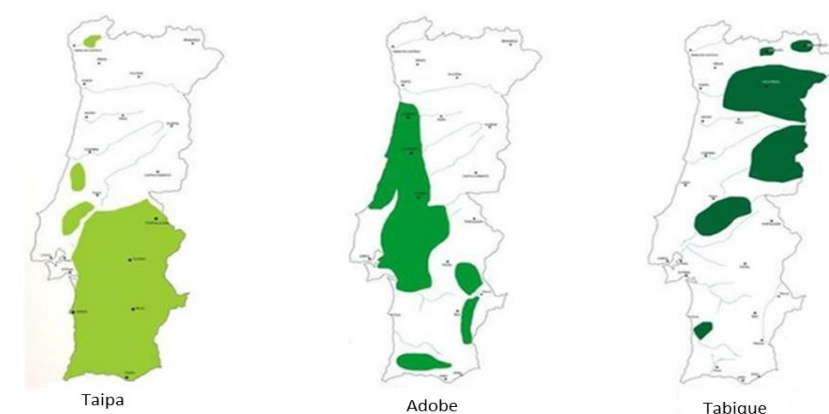


Figura 5 - Técnicas construtivas em terra em diferentes zonas de Portugal  
(tabiquesdoaltotamega.blogs.sapo.pt – 2012)

Verifica-se que o adobe é utilizado em zonas relativamente próximas de rios (zona do litoral), onde existe maior facilidade de acesso aos seus materiais constituintes. Na zona sul do país (Alentejo e Algarve) predomina a construção em taipa e as zonas interiores do norte é utilizado o tabique na construção.

## 2.2 A região de Aveiro

A região de Aveiro é bastante marcada pela construção em adobe, visto que a sua proximidade com zonas de rios permitiu a construção de um vasto património neste material. Começou-se a construir no final do séc. XIX até à primeira metade do séc. XX sendo a técnica que prevalecia na região, verificando-se o seu decréscimo gradual até à década de sessenta, entrando em extinção na construção há relativamente pouco tempo. Atualmente constata-se que cerca de 20 a 25% da edificação existente na cidade é em adobe, percentagem que quando se alarga à região de Aveiro, aumenta para 35% ou até mesmo para 40%.

### 2.2.1 Produção de blocos de adobe

A matéria-prima utilizada para produzir adobe por norma é extraída no local, ou numa área próxima à da construção, procedendo-se no mesmo espaço à sua moldagem e secagem.

O material para produção do adobe difere consoante as zonas. A areia é um dos materiais bastante presentes, a cal aérea por vezes é utilizada como aditivo dando aos blocos uma maior resistência. Em diversas zonas são adicionadas raízes, agulhas de pinheiros ou palha aumentando ainda mais a sua resistência, evitando também que se formem fissuras durante a sua secagem devido a fenómenos de retração.

A mistura dos materiais é feita a seco e, após apresentar uma mistura homogênea, é adicionada água até se obter uma consistência “plástica”. A dimensão dos moldes para os blocos varia consoante a finalidade, e podem ser de metal ou madeira. Depois da desmoldagem os blocos são virados frequentemente para que a cura seja uniforme em todas as faces.



a)



b)

Figura 6 - Produção de adobe: a) Moldagem b) Cura (Zomá -2013)

### 2.2.2 Património Arquitetónico

As construções que até agora prevalecem em adobe na região de Aveiro são essencialmente edifícios rurais e urbanos, muros, poços, igrejas e armazéns. Muitas destas construções encontram-se ainda em serviço. Nos bairros mais antigos da cidade, podem ser encontrados exemplos deste tipo de construção, desde habitações a armazéns antigos e instalações de comércio e serviços.



Figura 7 - Construção em adobe em Aveiro (Oliveira - 2009)

As construções não se limitaram apenas a pequenas e modestas casas. Presentemente, existem construções em adobe que representam exemplos de artes bastante marcantes, como é o exemplo da Arte Nova. Este movimento artístico dominou a época da utilização do adobe conferindo-lhe alto valor histórico, cultural e arquitetónico. Esta arte surgiu em Bruxelas no século XIX, onde rapidamente se propagou por outros países. A *Art Nouveau* (“Arte Nova”) chegou a Portugal anos mais tarde, em Aveiro ficou marcada pela utilização do adobe na construção.



a)



b)

Figura 8 - Exemplos de Arte Nova em Aveiro: a) Museu da Cidade b) Tribunal de Menores (Oliveira – 2009)

### 2.2.3 Degradação do património

Ao longo dos anos, fruto do desconhecimento de técnicas de reabilitação para este tipo de construções, e falta de interesse em vários campos, grande parte dos edifícios, na sua maioria particulares mas também públicos, encontra-se num estado de degradação considerável. Ainda assim satisfazem as funções para as quais foram projetados, revelando a longevidade e durabilidade do adobe como material de construtivo.



Figura 9 - Degradação do edificado em adobe

No entanto, construção cujo seu valor patrimonial é bastante elevado, é perceptível a procura pela sua recuperação e reabilitação. Exemplo disso é a casa Major Pessoa, que se localiza numa das zonas mais nobres da cidade de Aveiro e onde existe grande afluência de pessoas, não só habitantes da zona mas também turistas. Nesta era visível o seu estado de degradação que levou a uma intervenção bastante profunda que revitalizou toda a sua estrutura (Figura 10).



a)



b)

Figura 10 - Casa Major Pessoa: a) Antes da intervenção b) Depois da intervenção (Oliveira -2009)



Casos como estes, e até em construções em pior estado de conservação, começam a ser objeto de muitas obras situadas em grandes centros urbanos, onde a relação entre as construções e a sociedade começam a exercer pressão para que a história não se perca.

### 2.3 Propriedades particulares da alvenaria de adobe

A construção em terra é das técnicas construtivas mais simples e ecológicas existentes, sendo por isso uma opção que não deve ser descartada no momento da escolha dos materiais de um projeto. Todos os constituintes do adobe são recicláveis, concebendo assim um material sustentável, apoiando a preservação de recursos naturais.

A nível de gastos energéticos, esta pode ter uma produção totalmente ecológica, pois o processo não envolve a cozedura dos blocos, ao contrário do tijolo cerâmico e do betão armado que carecem de processos mais industrializados, fazendo dele o mais económico. De forma indireta, devido às suas excelentes características térmicas, diminui o consumo de energia utilizada para aquecimento dos espaços interiores, apresentando espessuras de paredes médias que variam dos 30cm aos 50cm que aliados à sua elevada massa induzem uma elevada inércia térmica.

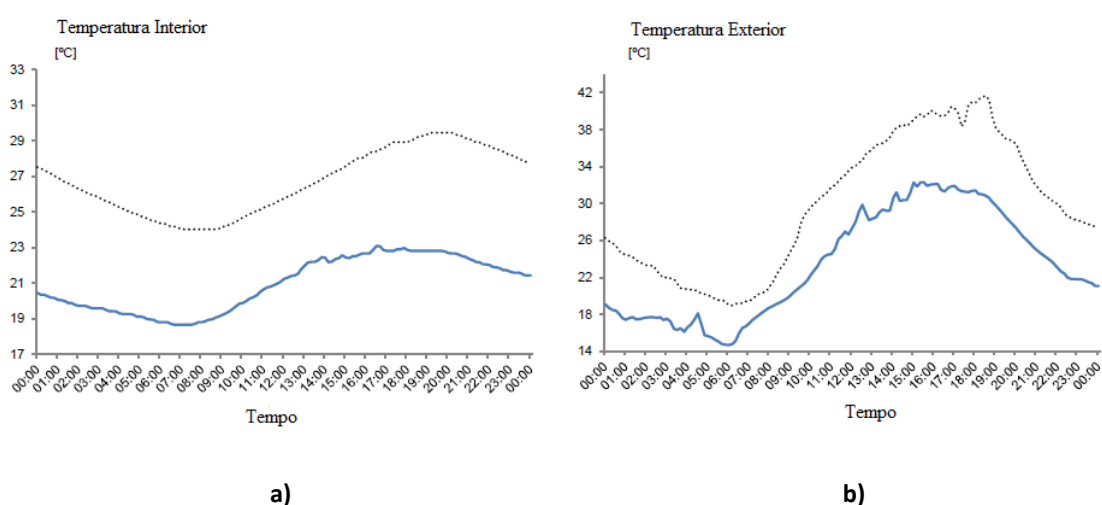


Figura 11 - Registo térmico numa habitação de adobe: a) No interior da habitação b) No exterior da habitação (Sampaio – 2013)

Os gráficos acima apresentados, são resultado de um estudo feito na região de Abrantes, em 3 de Junho (a linha tracejada) e 30 de Junho (a linha cheia), onde se verifica diferenças de temperatura que chegam aos 10°C no interior da habitação relativamente ao exterior, conferindo-lhe assim um conforto térmico. A nível acústico, construções deste tipo apresentam níveis de conforto agradáveis. As propriedades da terra e dos restantes inertes utilizados na produção formam uma mistura totalmente incombustível, tornando a sua aplicação segura contra incêndios.

Ainda do ponto de vista económico, o transporte dos materiais que por norma constitui uma fatia relevante numa construção, é poupado com a utilização do adobe, uma vez que o fabrico é feito nas proximidades ou até mesmo no local da obra. Numa tentativa de reaproveitar os destroços de ruínas, ou construções em que a sua reabilitação não seja um projeto exequível, o adobe pode ser triturado e humedecido, voltando ao seu estado original, podendo ser utilizado novamente para o mesmo fim. Isto deve-se à inexistência de processos de cozedura que alteram as propriedades químicas do material.

A elevada porosidade do adobe, natural da sua produção, acarreta consigo consequências, como é o exemplo da grande taxa de absorção de água. Tal facto, por norma, está associado a ascensões capilares, que surgem junto às fundações pela presença de água levando à deterioração dos materiais, tanto da alvenaria como da argamassa. No entanto, um bom projeto de fundação, que evite este contacto direto entre a água e a alvenaria, ou mesmo sistemas de ventilação, que criem diferenças de pressão expelindo a humidade do interior das paredes é suficiente para resolver esta anomalia inata.

No entanto, o que é considerado uma anomalia neste material, é também considerado um fator bastante importante, na medida que cria condições de salubridade no interior das construções, pois absorve a humidade do ar quando ele se encontra saturado. Aliado a estes fenómenos, as argamassas utilizadas, tanto no assentamento como no reboco, devem ser quimicamente compatíveis com os blocos de adobe, pois o traço e materiais são semelhantes aos constituintes dos blocos, o que não provoca reações de desagregação.

Apesar de todos estes fatores que tornam a construção em adobe uma técnica bastante credível existe anomalias inerentes ao uso deste material. As anomalias mais frequentes de carácter estrutural no adobe são essencialmente as desagregações, os esmagamentos e as fendilhações, que têm origens variadas, sendo as mais comuns as que estão direta ou indiretamente ligadas à água, agentes climatéricos e deformações excessivas. Somando a estas anomalias acresce ainda a escassa manutenção destes edifícios, a sua má utilização no que respeita à finalidade inicial do edifício, que por vezes é alterada ao longo dos anos, e deficiências nos pormenores construtivos, o que pode conduzir ao risco de colapso das estruturas.

### **2.3.1 Vulnerabilidade sísmica**

Os sismos são conhecidos como uma catástrofe natural com um elevado poder de devastação sobre as construções, sobretudo em estruturas frágeis que facilmente se tornam num amontoado de destroços.

Em resposta a estes imprevisíveis fenómenos, tem-se desenvolvido e evoluindo diversas técnicas neste ramo da engenharia. A implementação destes sistemas, que têm como objetivo principal proteger vidas humanas, pode ser avaliada através de estudos que identificam e definem zonas com maior e menor probabilidade de sofrerem um sismo. Existem sistemas utilizados em património edificado, onde existe a aplicação de amortecedores, como é o exemplo do *Santuario Madonna delle Lacrime*, em que toda a estrutura foi erguida e os amortecedores foram aplicados entre as fundações e os pilares que sustentam todo o edifício.

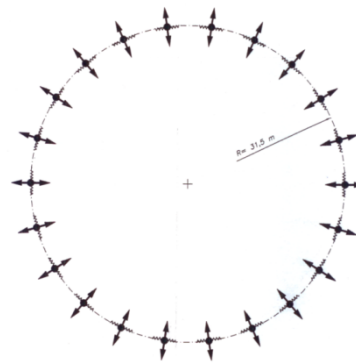




Figura 12 – Santuario Madonna delle Lacrime em Itália (Serino – 2011)



a)



b)

Figura 13 - Sistema de amortecedores: a) Amortecedor b) Direção dos deslocamentos (Serino – 2011)

O santuário com uma cúpula com cerca de 71 metros de diâmetro e 74 metros de altura, ligada às fundações através de 22 pilares de betão armado, sofreu uma implementação de 22 amortecedores independentes, absorvendo as ações horizontais de origem sísmica de modo a que estas ações não sejam transmitidas, na sua totalidade, à restante estrutura.

No caso concreto de estruturas de alvenaria de terra, atualmente existem diversos estudos em que se procuram desenvolver soluções fiáveis para implementar neste tipo de construção. As técnicas utilizadas são bastante vastas e vão desde a utilização de materiais naturais, como é o exemplo do bambu, até à utilização de materiais correntes nos mercados de venda como o exemplo das redes geossintéticas, fixados com simples buchas plásticas ou fios de *nylon*/fibras naturais, que posteriormente são rebocadas com argamassas (Figura 14).



Figura 14 - Técnicas de reforço em estruturas de adobe: a) Bambu (Dowling – 2005) b) Malha geossintética (Figueiredo – 2009)

Em Portugal Continental e nos Arquipélagos têm sido registados vários sismos de magnitude considerável, existindo registos de incidentes que se tornaram históricos pela sua destruição, como é o exemplo do terramoto de 1755 que afetou o coração da capital portuguesa e destruiu total ou parcialmente grande parte dos edifícios existentes. Os Açores situam-se numa área geográfica de risco sísmico elevado, devido à sua proximidade ao limite divergente das placas tectónicas Euroasiática e Americana. São ainda registados sismos de baixa magnitude frequentemente durante o ano, no entanto, em 1998, um sismo de força notável atingiu os Açores provocando a destruição de diversas construções.



Figura 15 - Sismo nos Açores em 1998

O risco sísmico em Portugal continental é fator não desprezível, pois está relativamente próximo de zonas onde ocorrem grandes atividades sísmicas que facilmente se propagam até território nacional.

### **2.3.2 Ação sísmica na alvenaria de adobe**

Quando se trata de ações sísmicas, a maioria das estruturas em alvenaria de terra têm um comportamento bastante semelhante, com danos bastante característicos. Avaliando as construções por todo o mundo, é notório o desenvolvimento e evolução de alguns pormenores construtivos, no entanto, existem erros que não são facilmente perceptíveis, tais como erros de conceção e execução, ou reparações simplesmente estéticas, que ocultam verdadeiras patologias nas estruturas (Figura 16). Devido a todos estes fatores, realizar uma avaliação estrutural a este tipo de construções, apresenta um elevado grau de incerteza.

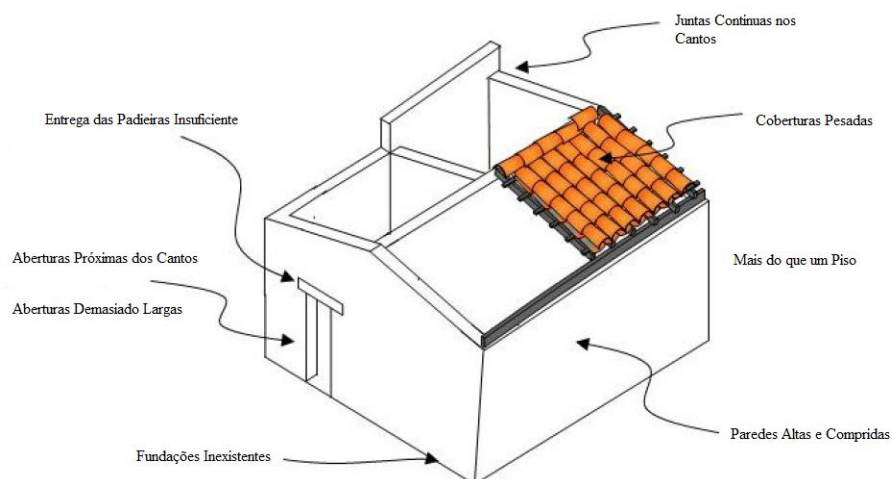


Figura 16 – Erros correntes em construções de adobe (Peña – 2008)

Através dos estudos, ensaios e também na observação das estruturas após um real sismo, verifica-se que o comportamento e os danos são bastantes semelhantes, como é o exemplo da rotura de ligações entre os elementos verticais e horizontais, podendo apresentar flexão vertical, horizontal ou biaxial. A flexão resultante de solicitações sísmicas depende do tipo de apoios onde está inserida a parede, ou seja, poderá existir o colapso do pano por inteiro, modo de rotura global, ou apenas em zonas específicas do pano, modo de rotura local.

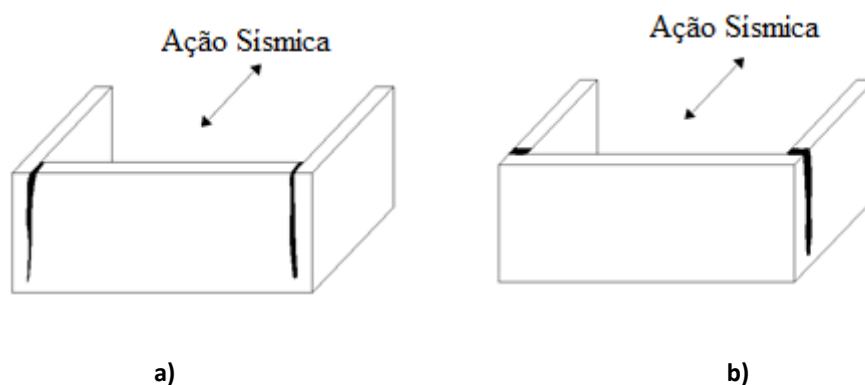


Figura 17 - Fissuração nos cunhais: a) Forças de corte b) Forças fora do plano (Costa – 2013)

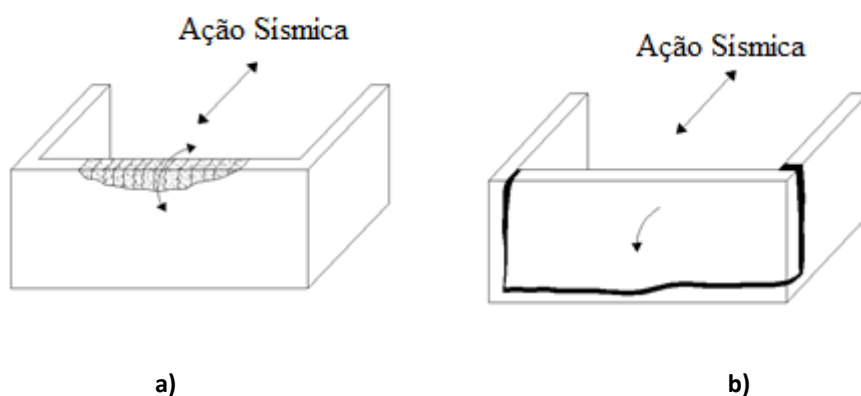


Figura 18 - Colapso para fora do plano: a) Derrube local b) Derrube global (Costa - 2013)

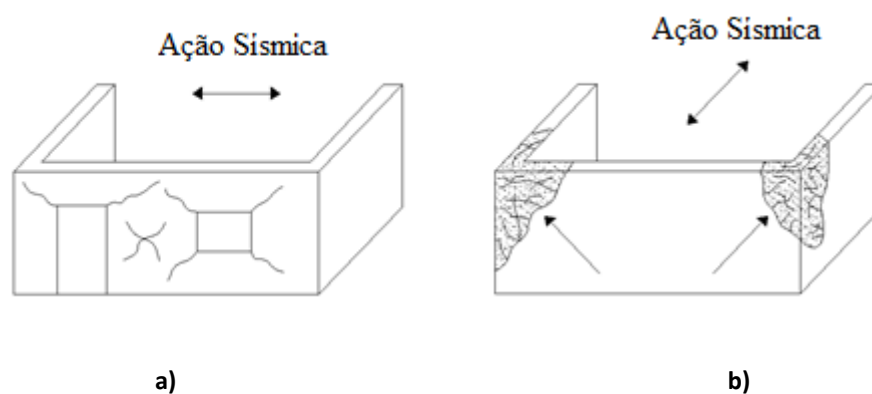


Figura 19 - Fissuração: a) No plano da parede b) Fragilização dos cunhais (Costa - 2013)

## 2.4 Trabalhos laboratoriais antecedentes

A temática apresentada nesta dissertação surge na continuidade de trabalhos realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Entre eles está uma campanha de ensaios em muretes de adobe, sujeitos a diversas cargas, como por exemplo compressão e corte.



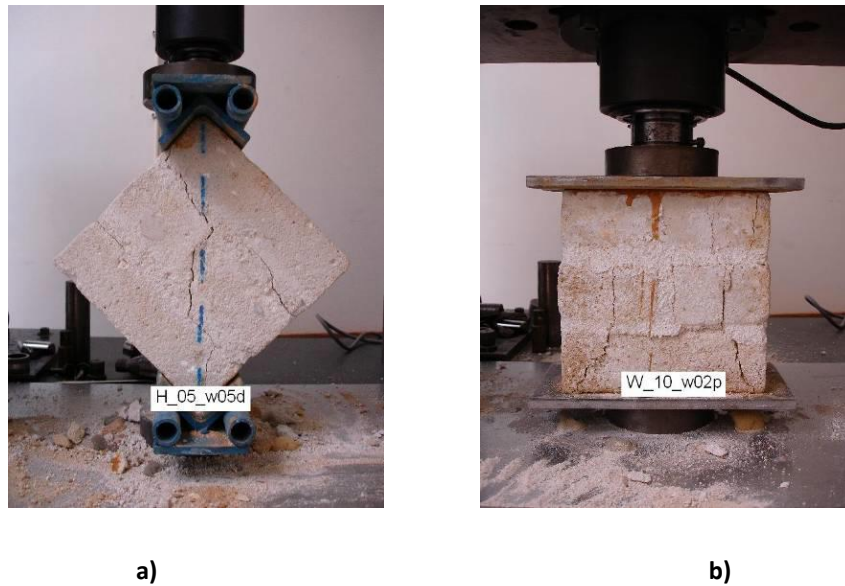


Figura 20 - Ensaios em muretes de adobe: a) Ensaio em compressão diagonal b) Ensaio em compressão perpendicular (Henrique – 2008)

Foi também realizado um ensaio cíclico a um murete com dimensões de 1.08 x 1.02 metros e com uma espessura de 18.5cm, que sustentava uma carga vertical onde se impunha um deslocamento horizontal no topo do murete. A carga vertical era de 2.86kN, e após vários ciclos, onde progressivamente se aumentava a força e a amplitude, a rotura deu-se aos 3.20kN, o que corresponde também à força máxima resistente.

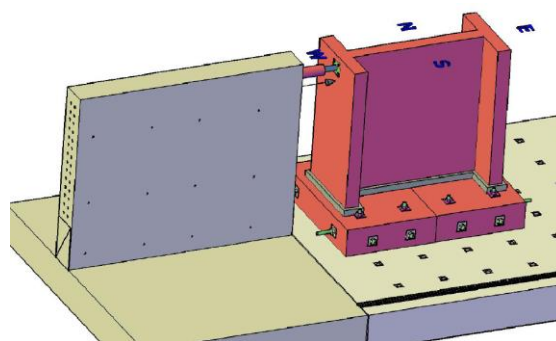


Figura 21 - Esquema do ensaio cíclico (Henrique – 2008)

Posteriormente, no sentido de aprofundar os conhecimentos sobre o comportamento sísmico em alvenaria de adobe típica da região de Aveiro, foi projetada uma parede com geometria em forma de I à escala real, para de igual forma ser sujeita a um ensaio cíclico num só plano. Os blocos de adobe são provenientes da demolição de uma estrutura na zona de Aveiro com medidas médias de 0.29m X 0.45m X 0.12m, as argamassas utilizadas, tanto de assentamento como de reboco, têm traço de 1:1:2 (cal hidratada: terra: areia), recriando as argamassas tradicionais, semelhantes às utilizadas na época. A parede tem medidas de 3.07metros de altura, 3.50metros de comprimento e uma espessura média de 29 centímetros, com reboco médio de 2 centímetros. Sobre ela atuava uma carga vertical permanente de 20kN, simulando o peso de ações permanentes e respetivas sobrecargas.



a)



b)

Figura 22 - Parede em forma de I: a) Parede finalizada b) Esquema do ensaio (Henrique – 2008)

Sujeita ao ensaio cíclico, com a devida instrumentação de aquisição de dados, foram registados valores de forças, deslocamentos e frequências naturais, que servirão, sempre que oportuno, de termo comparativo ao longo desta dissertação, permitindo analisar o comportamento de estruturas com iguais características, diferenciando apenas a sua geometria.

---

## *Capítulo 3*

### ***Caracterização dos Materiais e do Modelo à Escala Real***



### **3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E DO MODELO À ESCALA REAL**

No âmbito desta dissertação, no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro projetou-se um modelo em adobe característico da região, com dimensões à escala real. Neste capítulo é exposto todo o procedimento do projeto, desde os materiais constituintes até ao produto final, caracterizando e referindo todos os passos realizados na construção.

#### **3.1 Projeto do modelo de adobe à escala real**

Começou-se por projetar o modelo em folha de desenho (Figura 23) que mais tarde iria ser reproduzido, respeitando todas as normas construtivas de alvenaria de adobe. O modelo tem cerca de 3,50m de altura, uma geometria retangular em planta com dimensões 3,00m X 4,00m. Possui 3 aberturas, uma janela e duas portas, e no topo, uma viga cinta de betão armado, simulando cargas permanentes provenientes do peso próprio da cobertura e respetivas sobrecargas. Esta cinta em todo o perímetro do modelo permite ainda que toda a carga induzida pelo servo-atuador seja distribuída de igual forma em toda a estrutura, evitando zonas de concentração de tensões.

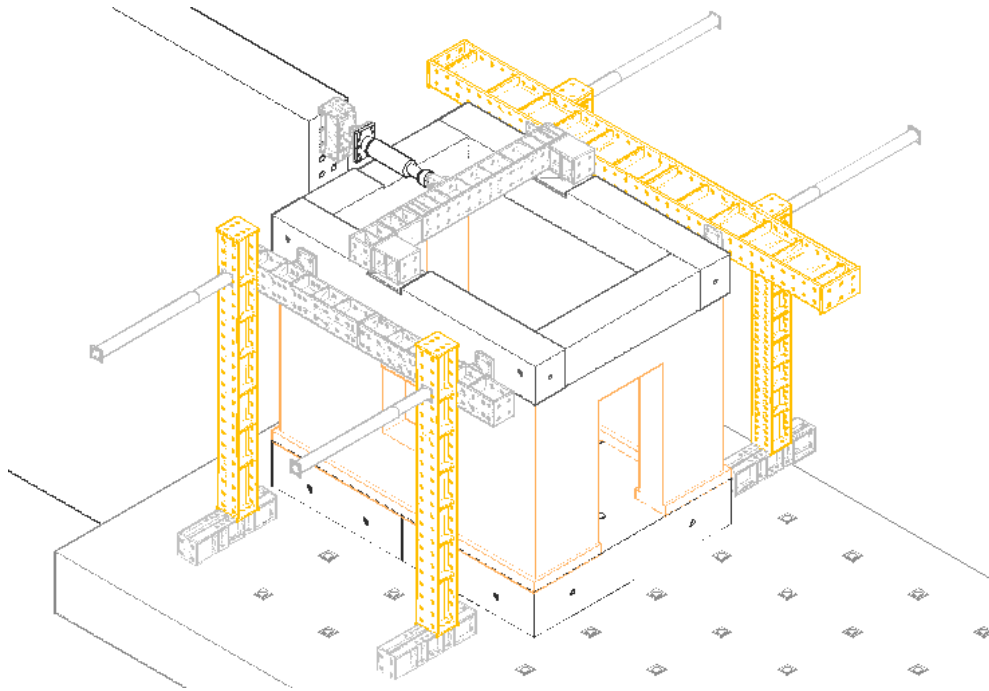


Figura 23 - Projeto do modelo de adobe (Fachada Sul/Este)

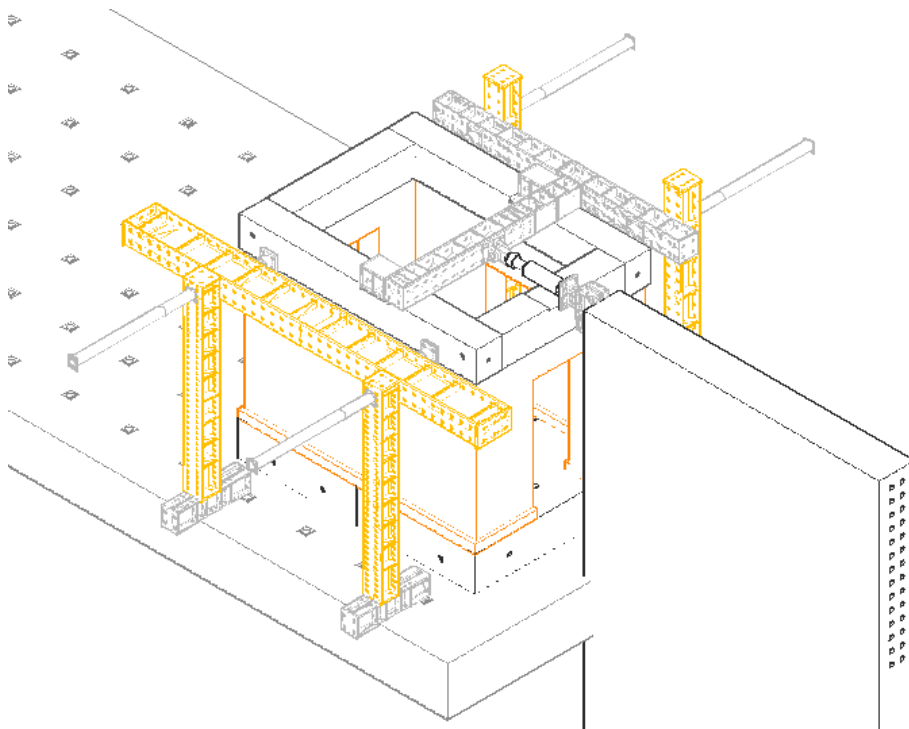


Figura 24 - Projeto do modelo de adobe (Fachada Norte/Oeste)

Os deslocamentos são aplicados apenas numa direção pelo servo-atuador, que exerce força na parede de reação, tendo a estrutura sido contraventada com vigas e pilares em aço, na direção perpendicular ao deslocamento, o contacto entre esta estrutura metálica e a estrutura de adobe é feita através de esferas que permitem o seu livre movimento na direção em que se desloca. Desta forma, pretende-se que as cargas produzidas pelo servo-atuador provoquem danos nos planos na fachada Norte e Sul, evitando rotações no modelo devido a excentricidades, ou até mesmo devido à diferença de rigidez das paredes.

Ao longo desta dissertação serão referidas as quatro fachadas do modelo, que se designam com base nos pontos cardeais, sendo a fachada Norte a fachada com o pano completo, a fachada Sul a que incorpora a janela e a Este e a Oeste ambas com uma porta cada (Figura 25).

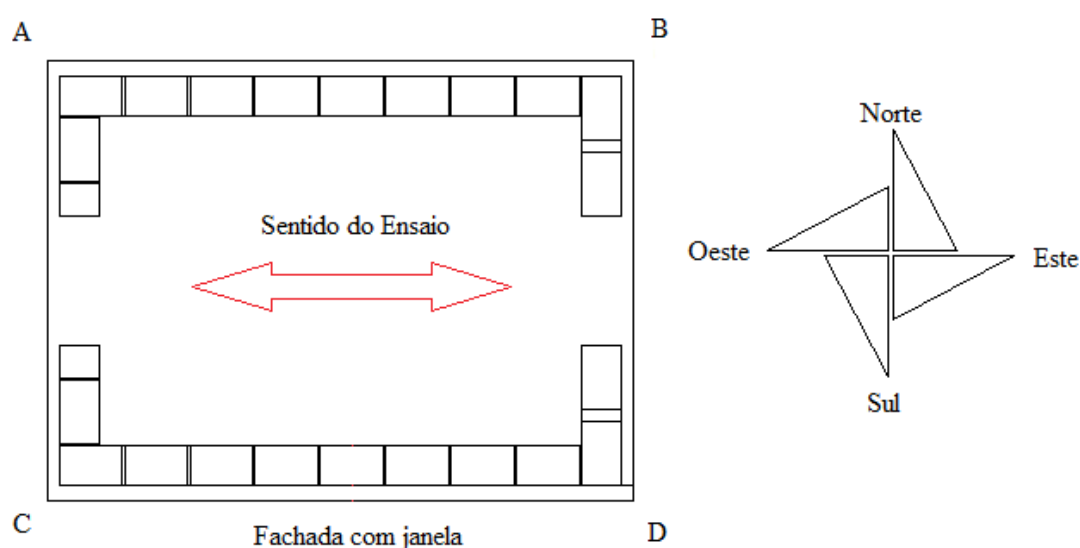


Figura 25 - Orientação e designações do modelo de adobe

### 3.2 Caracterização dos materiais

#### 3.2.1 Blocos de adobe

A construção do modelo foi feita por blocos de adobe provenientes de um muro de adobe no centro de Aveiro (Figura 26). O muro foi construído em meados do século XX, com materiais e técnicas tradicionais típicas da época para a produção de adobes. Os blocos foram retirados de forma a conservarem a sua integridade, podendo oferecer depois toda a sua capacidade no modelo de adobe.



a)



b)

Figura 26 - Blocos de adobe para a construção: a) Muro de adobe de onde se retiraram os blocos b) Blocos de adobe utilizados na construção

Por ser um material fabricado de forma artesanal, conduz a que todos os blocos sejam peças únicas, onde o processo de compactação e a dosagem dos materiais constituintes são os principais fatores de desigualdade. Este fator contribui para uma ligeira diferença nas propriedades mecânicas dos blocos. Com uma amostragem de vinte blocos foram feitas medições das dimensões e das características do adobe utilizado na construção (Tabela 1).

Tabela 1 - Características médias dos blocos de adobe

Volume médio (m <sup>3</sup> )	Coeficiente de Variação (%)
0.013	3.2

Peso Específico médio (kN/m <sup>3</sup> )	Coeficiente de Variação (%)
16.45	5.1

Esta amostragem foi submetida a ensaios de flexão, seguindo o que está descrito no RILEM, obtendo-se, um valor médio de 0.778 MPa resistência em tração em rotura de flexão dos adobes e compressão simples de 1.60 MPa. Os resultados das medições estão presentes no Anexo A.



Figura 27 - Ensaio em flexão dos blocos de adobe

#### 3.2.2 Argamassas

Durante a construção do modelo, recolheram-se amostras de argamassa aleatoriamente durante toda a fase de construção de forma a registar as capacidades resistentes. A argamassa é traço 1:1:2 (cal: terra argilosa: areia), a cal utilizada é hidratada.

Foram ensaiados provetes de argamassa (Figura 28), tendo a mesma sido recolhida em cada lote fabricado durante a fase de construção para moldes de dimensões 100 x 40 x 40 mm<sup>3</sup>.



Figura 28 - Ensaio a provetes de argamassa: a) Ensaio em flexão b) Ensaio em compressão

Dos ensaios realizados, segundo a norma EN 1015-11 para a determinação da resistência em flexão e compressão de provetes de argamassa, obteve-se um valor médio de resistência em compressão de 1,22 MPa e de resistência em flexão de 0,45 MPa, o que corresponde a 37% da tensão de rotura em compressão.



Figura 29 - Ensaio de compressão dos provetes cilíndricos

Além destes prismas foram também ensaiados cilindros de argamassa com dimensões de 30cm de altura por 15cm de diâmetro, de onde se retirou o valor do módulo de elasticidade em compressão de 1.19 GPa. O resultado integral dos ensaios está no Anexo B.

### 3.3 Construção do modelo

No laboratório, começou-se por preparar um suporte de betão armado para receber a construção. O suporte é constituído por dois maciços de betão armado ligados a uma laje de reação através de pré-esforço, formando assim o suporte de toda a construção com medidas de 3.00 m X 4.00 m. O arranque da construção começou com a primeira fiada de blocos assentes na posição perpendicular às posteriores, a argamassa utilizada foi de cimento de forma a evitar possíveis escorregamentos pela base devido à transição de materiais do betão para alvenaria de adobe e formar a base de assentamento para os restantes blocos.



a)



b)

Figura 30 - Fundações do modelo: a) Sapata de betão armado b) Início da construção

O procedimento para o assentamento dos restantes blocos do modelo foi feito de forma intercalada, sem que as juntas ficassem sobrepostas, tentando-se conservar uma



espessura média de 2cm de argamassa entre os blocos. As padieiras das portas e da janela são suportadas por tábuas de 5cm de espessura, com entrega de 10cm na alvenaria, de modo a minimizar a interferência no modo de propagação do dano (Figura 31).



a)

b)

Figura 31 - Pormenores construtivos: a) Modelo sem reboco b) Padieira

Após o assentamento de todos os blocos, seguiu-se o reboco com o traço igual à da argamassa de assentamento dos adobes, tentando-se retificar e alinhar as fachadas, devido às irregularidades dos blocos, variando a espessura média entre 1.5cm a 2.5cm de argamassa. Os acabamentos foram feitos com recurso a régua e talocha, deixando a superfície das fachadas uniformemente lisas (Figura 32).



a)

b)

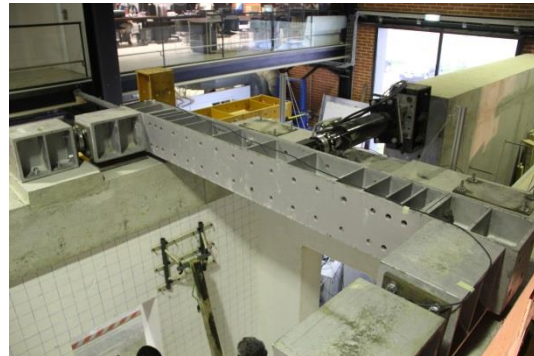
Figura 32 - Acabamento do modelo: a) Aplicação do reboco b) Modelo rebocado



Como referido anteriormente, no topo foi feita uma viga-cinta de betão armado, com peso próprio de aproximadamente 60kN, simulando cargas permanentes provenientes do peso próprio da cobertura e respetivas sobrecargas. Os acessórios para a realização do ensaio cíclico, vigas metálicas e o servo-atuador, foram assentes sobre esta viga de betão armado (Figura 33).



a)



b)

Figura 33 - Viga de betão armado: a) Construção b) Acessórios para a realização do ensaio

De forma a detetar a propagação das fissuras durante o ensaio, caiu-se todo o modelo com cal hidratada, finalizando assim todo o processo construtivo.



Figura 34 – Modelo finalizado

Após a construção do modelo, este permaneceu em repouso, sem qualquer intervenção durante três meses, até à data do ensaio, certificando que as argamassas efetivaram todo o processo de cura, obtendo a resistência total que pode ser alcançada com estes materiais, para assim desempenharem um comportamento semelhante ao de uma estrutura real.

### **3.4 Instrumentação e equipamento de monitorização**

De forma a monitorizar o comportamento do modelo durante todo o ensaio foi utilizada instrumentação adequada para leituras de deslocamentos, cargas, comportamentos no plano, frequências naturais nas diversas fases. Os equipamentos utilizados durante o ensaio foram:

- LVDT (Linear Variable Distance Transducer) (10, 25, 100, 150 e 250 mm de curso)
- Potenciómetros da marca Gefran (25, 50 e 100 mm de curso)
- Potenciómetro da marca Turck (400 mm de curso)
- Sensor de fio da marca Waycon (500 e 750 mm de curso)
- Células de carga da marca AEP Transducers, modelo TC4 – 300kN e 500 kN;
- Acelerómetro de fibra ótica
- Atuador – Servo-atuador hidráulico (300kN de capacidade em compressão e 240kN em tração e 250mm de curso)



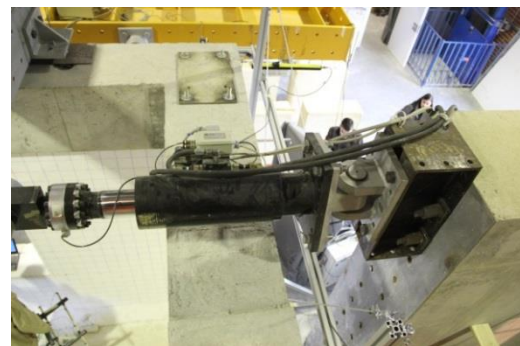
a)



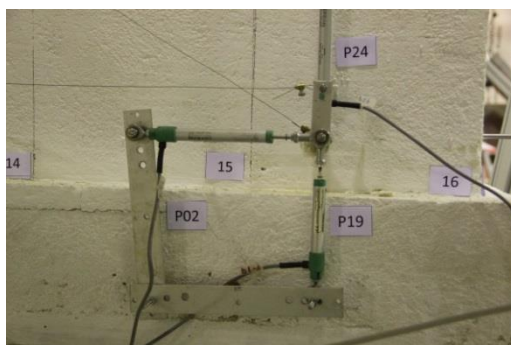
b)



c)



d)



e)



f)

Figura 35 - Equipamento de monitorização: a) Célula de carga b) Acelerómetro c) Sensor de fio d) Servo-  
atuador 300 MPa e) Potenciómetros Gefran f) LVDT

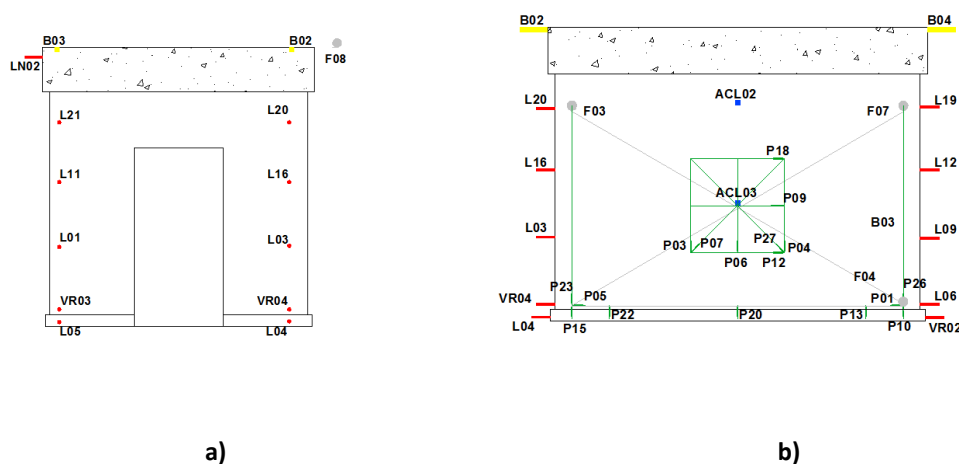
Identificando e enumerando todos os sensores, foi atribuída uma designação genérica para todos eles, como descreve a seguinte tabela:

Tabela 2 - Designação do equipamento de monitorização

Equipamento	Designação
LVDT	LXX (ex. L19) ou VRXX (ex. VR04)
Potenciómetro Gefran	PXX (ex. P11)
Potenciómetro Turck	BXX (ex. B03)
Sensor de fio	FXX (ex. F05)
Célula de carga	CC_XXX (ex. CC_300) e ForAct_300
Acelerómetro	ACLXX (ex. ACL03)

A localização de todos os sensores, para medição seja de deslocamentos seja de forças, foi escolhida de forma estratégica tendo atenção aos pontos mais sensíveis ou mais suscetíveis a oferecer um resultado característico do comportamento de estruturas em adobe (Figura 37).

Os potenciómetros Gefran foram colocados na base da estrutura, de forma a registar escorregamentos ou levantamentos da base. Os LVDT's foram aplicados em toda a altura dos cunhais para estudar os deslocamentos laterais do modelo e o comportamento no plano de cada uma das fachadas perpendiculares ao sentido do ensaio.



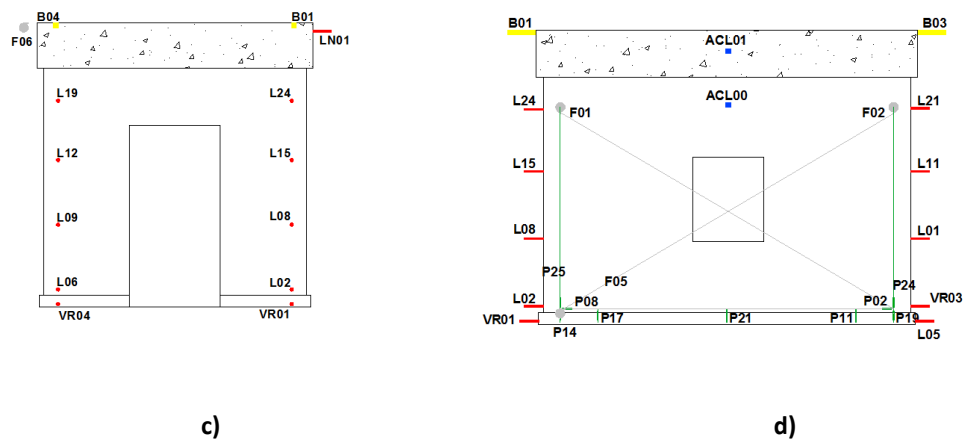


Figura 36 - Posição do equipamento de monitorização: a) Fachada Este b) Fachada Norte c) Fachada Oeste d) Fachada Sul

Foi idealizada uma estrutura de alumínio, totalmente independente do modelo ensaiado, de modo a ser utilizada como suporte de todos os sensores externos (Figura 37). Os sensores internos foram aplicados diretamente no modelo (sensores GEFTRAN e acelerómetros), de modo a registar os deslocamentos internos em pontos devidamente selecionados.



Figura 37 – Estrutura de suporte de alumínio

A aplicação da carga horizontal na estrutura foi efetuada através do servo-atuador hidráulico de 300kN, a uma altura de 3.5m da base do modelo de adobe (não inclui a sapata de betão armado), ligado a uma parede de reação onde aplicava a carga a meio das paredes Norte e Sul (Figura 38). A carga foi controlada em deslocamentos através de um programa de aquisição e controlo, em que a sua intensidade é medida por três células de carga, uma no servo-atuador (300kN) e as outras duas na ligação entre a viga metálica que se encontra encastrada na estrutura.

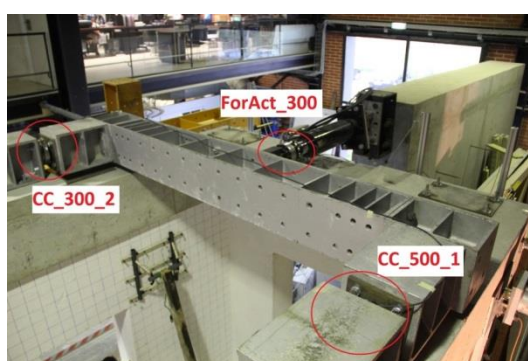


Figura 38 - Localização das células de carga

---

## *Capítulo 4*

### *Resultados do Ensaio*





## 4 RESULTADOS DO ENSAIO

Este capítulo começa por descrever o comportamento geral do modelo durante o ensaio, apresentando diversos gráficos que representam o seu deslocamento. É apresentado o comportamento detalhado da estrutura em várias vertentes, como é o exemplo das frequências naturais e do comportamento energético, bem como o comportamento de cada um dos panos, mostrando os mapas de propagação dos danos.

### 4.1 Deslocamento Global

O comportamento global do ensaio foi registado na relação entre a força e deslocamento (Figura 39). A série identificada a azul corresponde ao primeiro movimento, com a sua curva característica de um “*push-over*”, a carga aplicada levou a estrutura à rotura, sendo aplicada uma força máxima de 121,0 kN, correspondendo ao deslocamento de 6,5 mm.

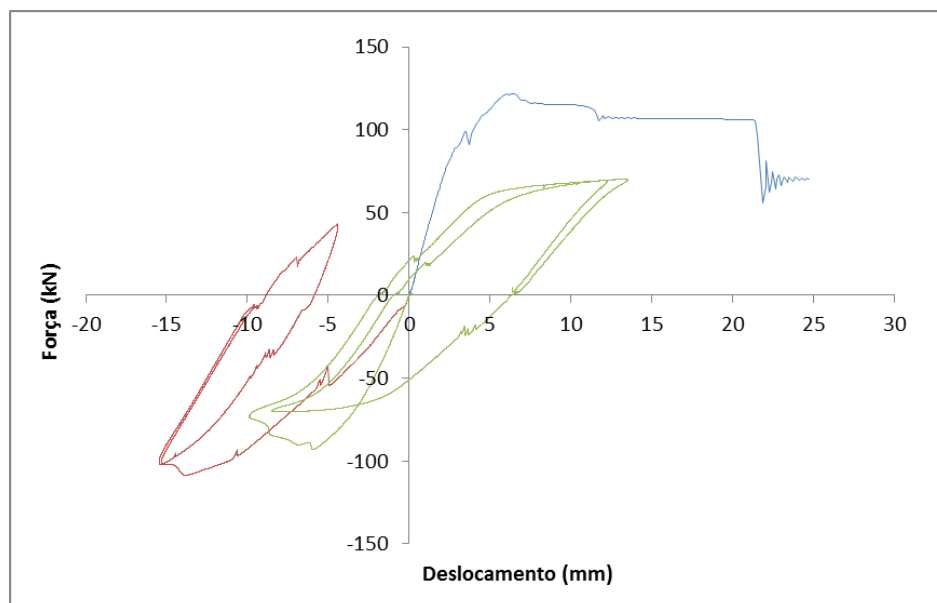


Figura 39 - Gráfico força / deslocamento

Após a rotura do modelo, o deslocamento prolongou-se até aos 24.7 mm atuando uma força de cerca de 106,0 kN.

No segundo ciclo, identificado a vermelho, procedeu-se ao deslocamento no sentido oposto. Registou-se um valor de carga máxima de 108.6 kN, com um deslocamento de 15.5mm, verificando-se uma grande proximidade de valores máximos.

Na última fase cíclica, identificada a verde, o modelo já se encontrava fissurado, com danos acentuados, no entanto registou-se um valor residual da tensão resistente de 60kN.

### **Análise comparativa – Parede em I**

Conferindo estes resultados com os já estudados na parede em forma de I faz-se o comparativo entre as duas estruturas (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação do comportamento global

<b>Designação do Cunhal</b>	<b>Casa de Adobe</b>	<b>Parede em I</b>
Tensão de rotura (kPa)	44.5	57.8
Drift de rotura (%)	0.052	0.036
Tensão residual (kPa)	35.0	29.5

Verifica-se que os valores resistentes de cada uma das estruturas diferem, tendo a casa de adobe suportado uma tensão de rotura inferior à parede em I, no entanto no que respeita à tensão residual os valores aproximam-se. Apesar da diferença nos valores resistentes, ambas apresentam um comportamento frágil semelhante perante o deslocamento horizontal, apresentando um diferença de 0.016% de *drift's*.

## 4.2 Evolução dos danos e comportamento no plano das paredes

Com o ensaio pretendia-se estudar o comportamento no plano das paredes de maior vão, fachada Norte e fachada Sul, perpendiculares ao sentido do deslocamento do ensaio. Os danos registados no modelo, inicialmente propagaram-se pelas zonas das aberturas, junto às padieiras das portas e da janela, com aberturas que variavam entre os 0,3 e os 0,7mm (Figura 40).

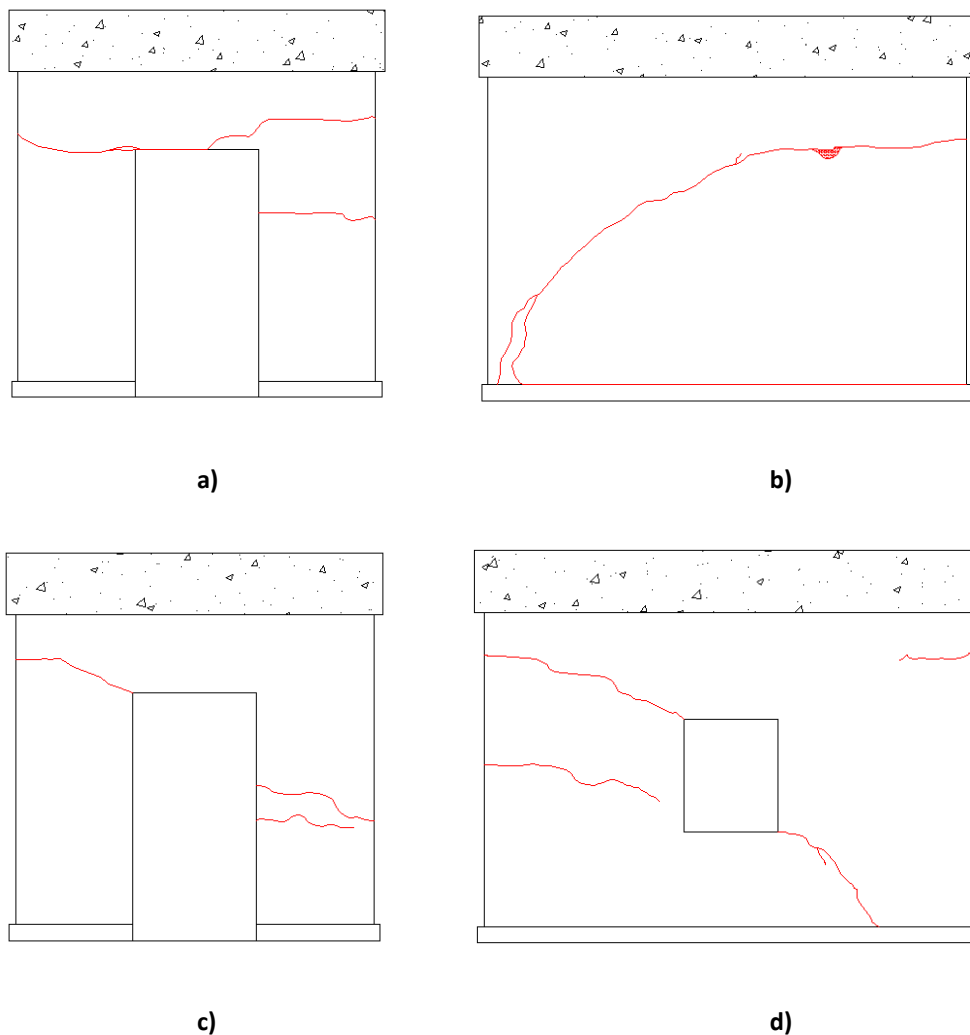


Figura 40 - Fissuração após o primeiro ciclo: a) Fachada Este b) Fachada Norte c) Fachada Oeste d) Fachada Sul

No primeiro deslocamento, apenas num dos sentidos verificou-se uma fissura diagonal em cada uma das fachadas Norte e Sul, não se verificando destacamentos de reboco significativos.

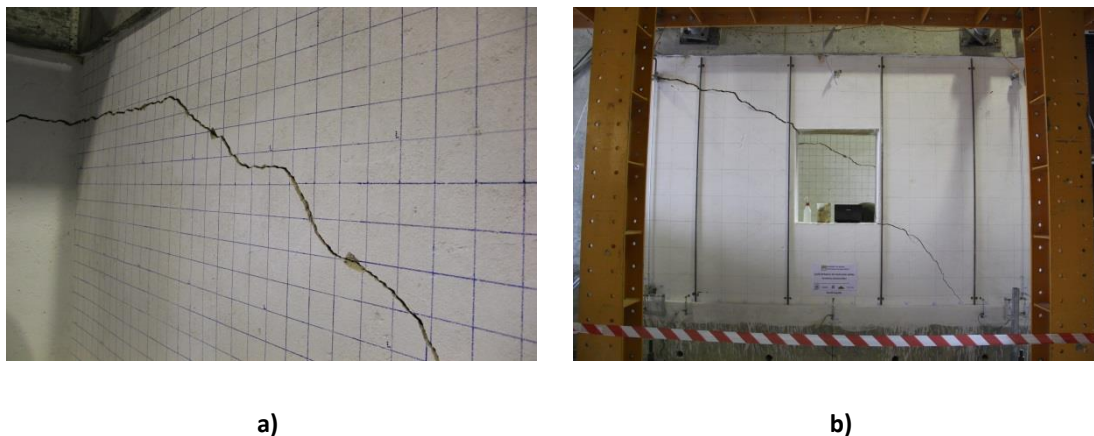


Figura 41 - Fissuras resultantes do 1º Ciclo: a) Interior da fachada Norte b) Exterior da fachada Sul

Ao longo do resto do ensaio repetiram-se ciclos onde era possível observar a formação de novas fissuras na periferia da zona onde se formaram as primeiras, tendo existido destacamento de argamassa de reboco em alguns pontos. Foi também claramente visível a formação do “X” em ambas as fachadas, resultado do deslocamento em ambos os sentidos onde se previa que na fachada Sul se propagasse pela zona da abertura da janela.

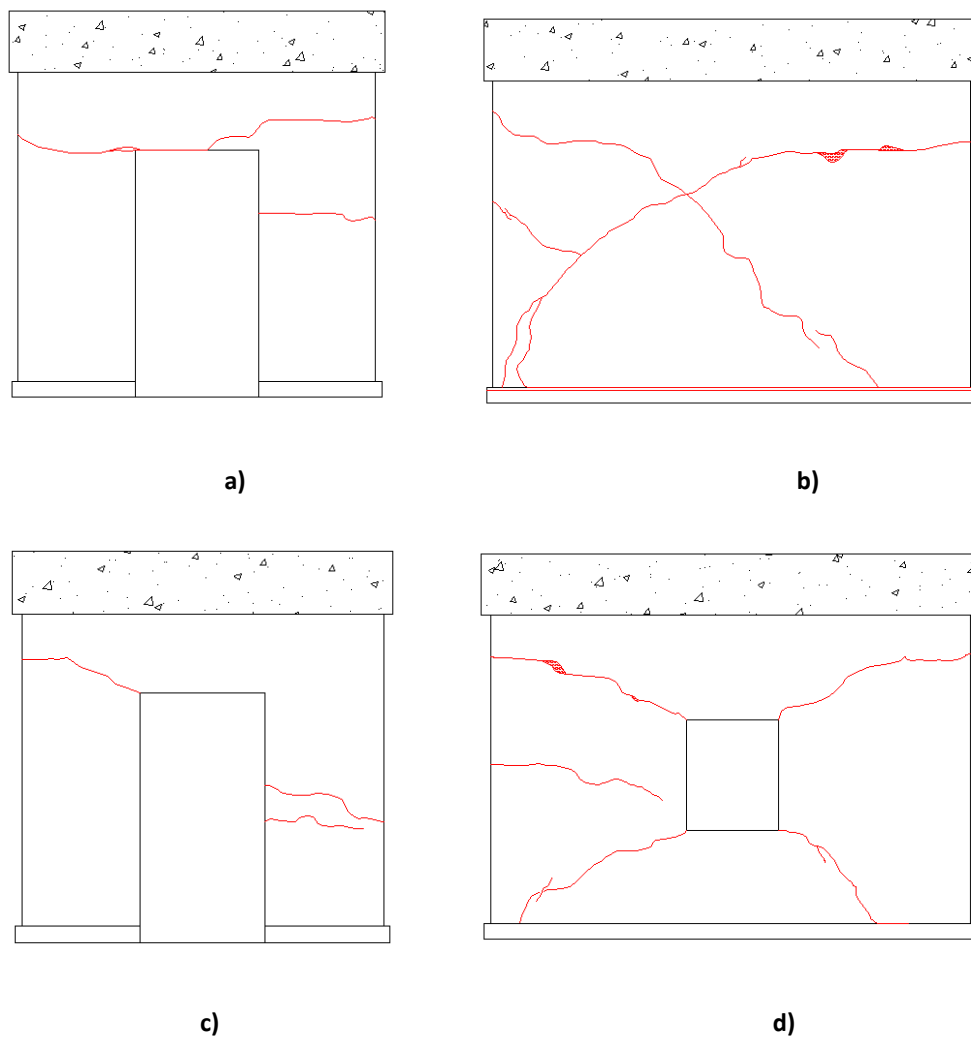


Figura 42 - Fissuração no final do ensaio: a) Fachada Este b) Fachada Norte c) Fachada Oeste d) Fachada Sul



Figura 43 - Fissuras resultantes do Ensaio: a) Exterior da fachada Norte b) Exterior da fachada Sul

Todas as fissuras assinaladas prolongaram-se pelo interior das paredes, podendo ser observadas no interior do modelo, resultando num desalinhamento horizontal das paredes (Figura 44). Os pormenores das fissuras estão no Anexo C.

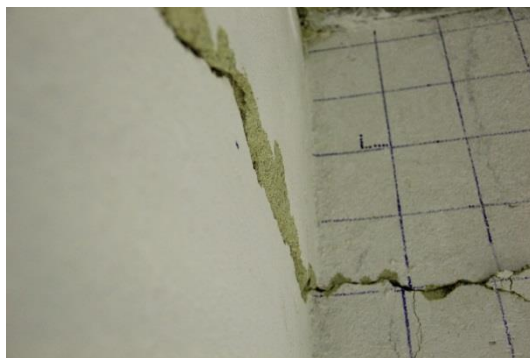


Figura 44 - Desalinhamento da estrutura

#### **Análise comparativa – Parede em I**

De igual forma, após o ensaio, os danos visíveis na parede em I apresentam uma fissuração bastante acentuada, onde duas fissuras bastante distintas originaram a forma “X” em ambas as faces da alma (Figura 45).

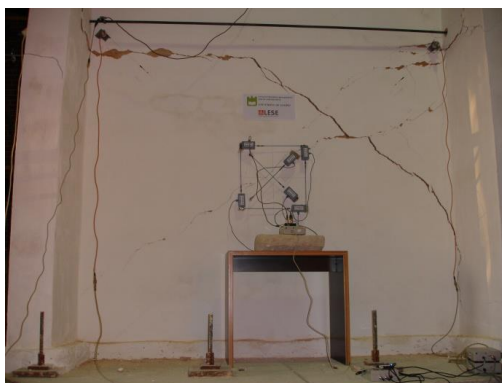


Figura 45 - Danos na parede em I

### 4.3 Deslocamento Lateral

Através das leituras dos sensores situados em toda a altura dos cunhais do modelo, registou-se o deslocamento lateral (Figura 46). Está representado em cada gráfico o deslocamento imposto pelo atuador e a altura total do modelo, onde cada uma das linhas representa um valor percentual de *drift* diferente. Inicialmente registou-se um comportamento linear, o que após a rotura aos 1.9% de *drift* verificou-se a formação da grande fissura diagonal em ambas as fachadas Norte e Sul. Na zona da base não existiram deslocamentos horizontais significativos.

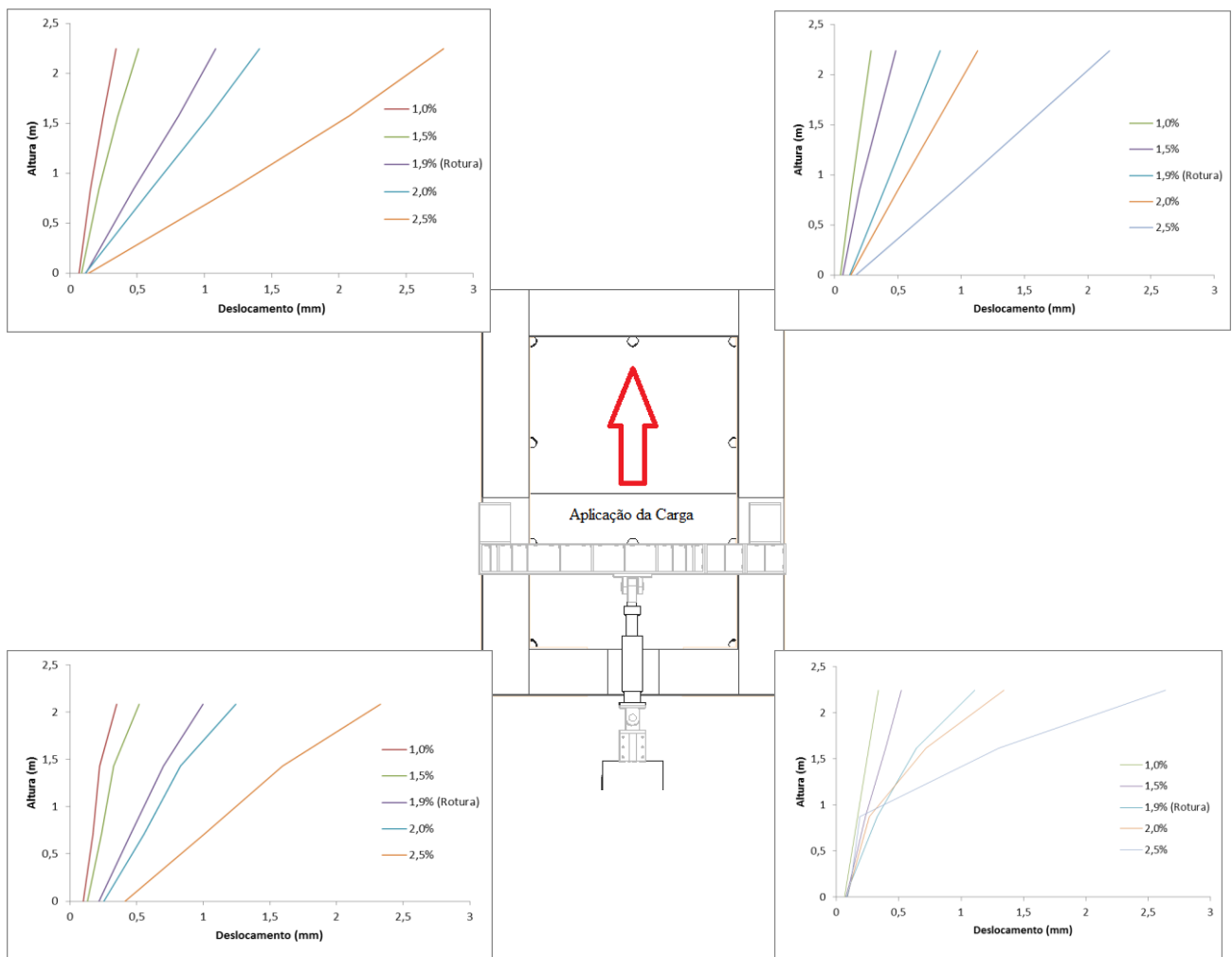


Figura 46 - Deslocamento lateral nos cunhais

Verificando os resultados, verifica-se que a parede Sul sofreu um deslocamento maior do que a parede Norte (Figura 47). A presença da janela na fachada Sul confere a esta parede uma rigidez inferior, que se traduz num maior deslocamento para uma força igual, quando comparada com a fachada Norte. No instante da rotura, existe um desfasamento de 0.24mm entre ambas as fachadas, e no momento de *drift* igual a 3% o desfasamento é de 0.6mm. Verifica-se ainda que o encastramento feito ao modelo faz com que as paredes, Norte e Sul, se mantenham paralelas ao longo do ensaio.

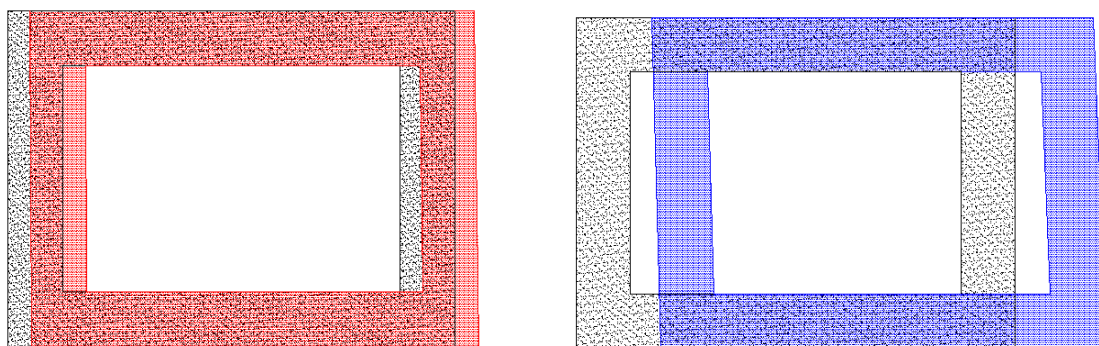


Figura 47 - Vista do topo do deslocamento lateral (ampliação x20): a) *Drift* = 1.9% momento de rotura b) *Drift* = 3.0%

#### 4.4 Levantamento da Base

Os deslocamentos na base do modelo apenas se registaram no sentido vertical (Figura 48), pois o encastramento nas fachadas Norte e Sul impediram a sua rotação no plano horizontal. O levantamento da base registou-se linear no primeiro movimento do atuador, deixando de se verificar após a rotura da estrutura, devido às fissuras que se formaram nas juntas de argamassa (Figura 50).



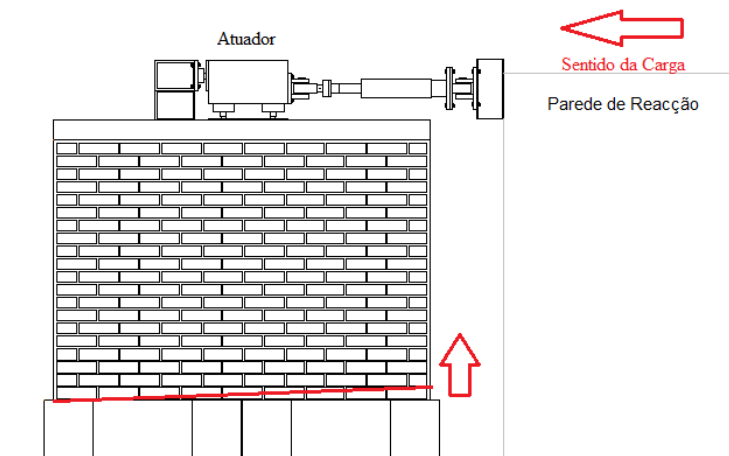


Figura 48 - Levantamento da base

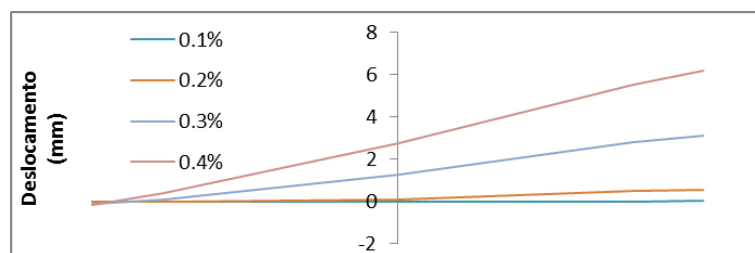


Figura 49 - Levantamento da base: 1º deslocamento

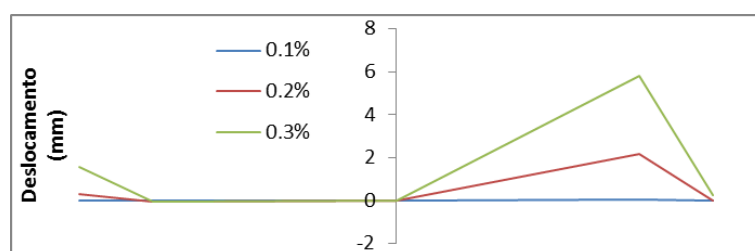


Figura 50 - Levantamento da base: Deslocamento final

#### 4.5 Frequências naturais

Foram realizadas medições de frequências por um acelerômetro ótico situado no topo da cinta de betão, a partir do qual se obteve as 1<sup>as</sup> frequências naturais da estrutura. No fim de cada série de ciclos de deslocamentos impostos (Tabela 4) foi efetuada uma medição da sua frequência natural em duas direções, a direção Norte-Sul (N-S) e a direção Este-Oeste (E-O).

Tabela 4 - Leituras das frequências naturais ao longo do ensaio

Nº	Descrição	Norte - Sul (Hz)	Este - Oeste (Hz)
1	Antes do ensaio	70,38	52,10
2	Antes do ensaio	70,81	52,18
3	Antes do ensaio	70,16	52,26
4	Após 1ª fissura (com atuador sem pressão)	59,72	45,49
5	Após 1ª fissura (com atuador sem pressão)	60,08	45,41
6	Após 2º ciclo de força (+/- 5mm)	59,05	44,43
7	Após 2º ciclo de força (com atuador em pressão)	60,33	46,46
8	Após 2º ciclo de força (com atuador sem pressão)	58,49	45,51
9	Após 3º ciclo de força (+/- 10mm)	53,14	20,81
10	Após 3º ciclo de força (+/- 15mm)	50,03	21,11

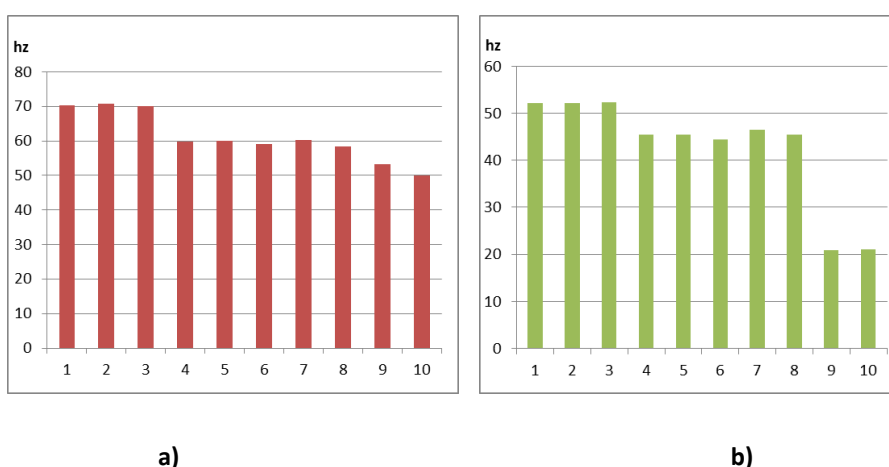


Figura 51 - Gráfico de leituras das frequências naturais: a) Direção Norte - Sul b) Direção Este - Oeste

Observa-se, assim, que a primeira frequência natural do modelo antes de qualquer deslocamento é de aproximadamente 70Hz na direção perpendicular ao sentido do ensaio e de 52Hz no sentido paralelo. Este valor decresce ao longo do ensaio com os deslocamentos impostos pela força horizontal, cada um dos momentos descritos na tabela 4. Após os sucessivos deslocamentos, a frequência caiu para 50Hz e 21Hz, no sentido Norte – Sul e Este – Oeste respectivamente. Esta diminuição natural ocorreu devido aos danos que se foram propagando por todo o modelo após a rotura. Nestas últimas fases onde os danos eram mais acentuados, deu-se uma diminuição considerável da rigidez de todo o modelo.

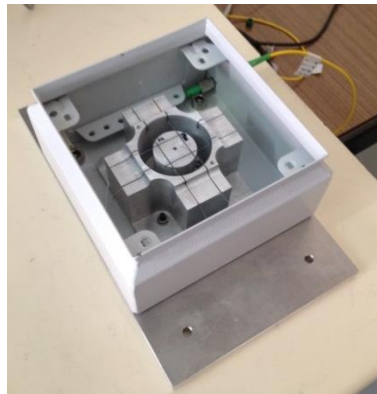


Figura 52 - Acelerómetro ótico

### **Análise comparativa – Parede em I**

Este registo de frequências quando comparadas às da parede em I, verifica-se que existiu uma menor diferença entre as leituras iniciais e as finais (Tabela 5). Tendo a da casa de adobe um decaimento para menos de metade e a parede em I cerca de um terço das frequências iniciais.

Tabela 5 - Variação das frequências naturais

Designação do Cunhal	Casa de Adobe	Parede em I
Frequência Natural Inicial (Hz)	51.2	22.9
Frequência Natural Final (Hz)	21.1	15.6
Diferença	58.8%	31.8%

Esta diferença de decréscimo de frequências deve-se essencialmente a pormenores construtivos, como é o exemplo da cinta de betão armado no topo da casa de adobe que está diretamente ligada ao adobe através de espigões, existindo uma boa aderência entre o betão e o adobe, ao passo que a parede em I apenas tem uma viga metálica assente sobre ela.

#### 4.6 Energia dissipada

A evolução da energia dissipada ao longo do ensaio foi determinada através da integração do gráfico de deslocamento e força (Figura 53).

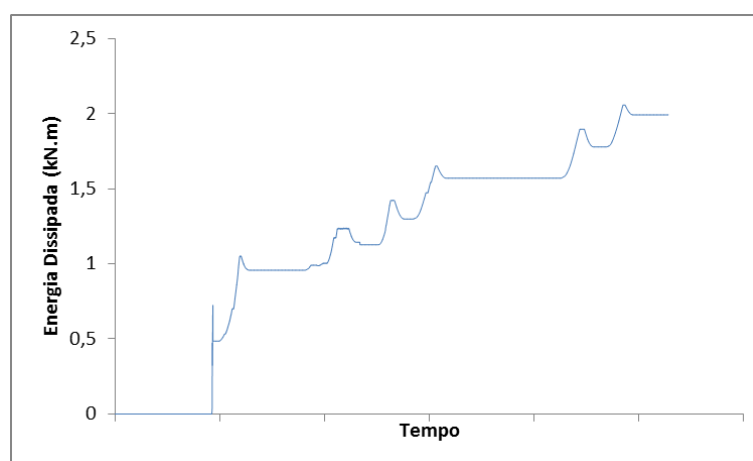


Figura 53 - Gráfico dissipação de energia ao longo do tempo

O primeiro nível de energia dissipada corresponde ao momento do “*push-over*”, onde se verifica um declive acentuado na dissipação de energia, pois a fissuração formou-se e propagou-se rapidamente. Os restantes ciclos são facilmente identificáveis através dos patamares presentes, que aumentam à medida que o ensaio decorre. O segundo declive acentuado no gráfico aconteceu no momento do deslocamento inverso ao deslocamento inicial, formando o “X” em ambas as fachadas. Após estas aberturas mais marcantes, existiu, como já foi descrito acima, a propagação de pequenas fissuras nas zonas envolventes.



---

## *Capítulo 5*

### *Solução de Reforço*





## **5 SOLUÇÃO DE REFORÇO**

Após o ensaio realizado pretende-se reparar os danos e aplicar reforço estrutural. Este capítulo pretende, de alguma forma, descrever uma solução de reforço pensada e projetada para a estrutura em estudo. Com a reparação de todas as fissuras, o modelo recuperar a integridade original, e a aplicação do reforço aumenta a capacidade de resistência a solicitações sísmicas.

### **5.1 Técnicas e materiais**

As técnicas utilizadas para a reparação e reforço do modelo de adobe procuram ser simples, económicas e eficazes. Assim, optou-se pela aplicação de um reboco armado com rede geossintética. Todo este processo é desenvolvido em três etapas essenciais, a primeira onde se fazem injeções de caldas de cal nas fissuras mais acentuadas, a segunda onde se aplica rede geossintética apenas sobre as fissuras a fim de restituir a integridade original de todo o modelo reparando totalmente os danos, e por fim a aplicação desta mesma rede para reforço estrutural.

Inicia-se pelo processo de injeção de argamassas de cal, é feita a partir da mistura de água e cal hidratada. Esta mistura não deve conter qualquer inerte, para mais facilmente preencher as fissuras de menor dimensão.



Figura 54 - Calda de cal hidratada

Após o processo de cura da cal injetada, procede-se à picagem do reboco. O ensaio a que foi submetido o modelo provocou microfissuras nas zonas envolventes às fissuras mais acentuadas onde as caldas não penetram. Desta forma pretende-se reparar através da aplicação de um malha geossintética que posteriormente também será utilizada no reforço.

A malha geossintética será a mesma que a utilizada na parede em I, podendo dar continuidade ao comparativo do comportamento entre ambas as estruturas. Trata-se de uma rede Cintoflex, resistente a ambientes alcalinos, que apresenta valores de resistência eficazes para esta aplicação. Os ensaios realizados foram feitos em tração, a uma velocidade de 3mm/min à temperatura ambiente (Figura 55).

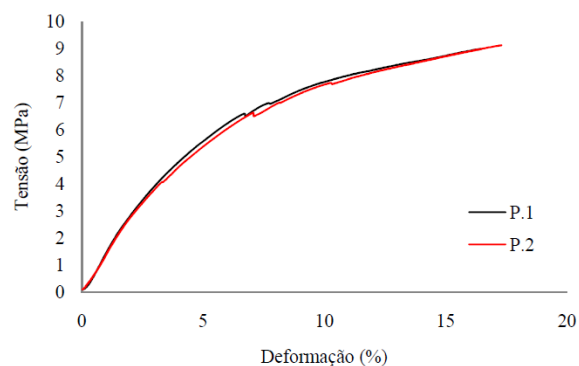


Figura 55 - Rede geossintética: a) Esquema de ensaio em tração b) Gráfico Tensão vs Deformação (Figueiredo – 2009)

Tabela 6 - Resultados Tensão vs Deformação (Figueiredo - 2009)

Rede	Comprimento	Largura	Tensão de Rotura (MPa)	Deformação Máxima (%)
1	22.5	18.5	8.98	17.0
2	23.5	18.5	9.11	18.0

Estes resultados revelam que a resistência da rede equivale a  $\frac{1}{3}$  da resistência do aço em tração. A sua aplicação será executada através de buchas plásticas, igualmente resistente a ambientes alcalinos, com espaçamento igual a 50cm de modo a que a rede permaneça esticada e próxima da alvenaria (Figura 56).



Figura 56 - Bucha plástica

Nas zonas de curvas côncavas, nomeadamente no interior do modelo será utilizado um perfil em PVC em toda a altura, de modo a ajustar a rede à parede. Todas as sobreposições e comprimentos de amarração serão feitos com o mínimo de 20cm com o auxílio de fio de *nylon*.

## 5.2 Intervenção

Pretende-se nesta primeira fase reparar os danos da estrutura através de injeções de caldas de argamassa. Procede-se então à abertura das fissuras ao longo do seu contorno, facilitando a aplicação da argamassa, vedando as caldas que serão posteriormente

injetadas por pequenos tubos colocados durante esta fase, de espaçamento de 30cm entre eles (Figura 57).



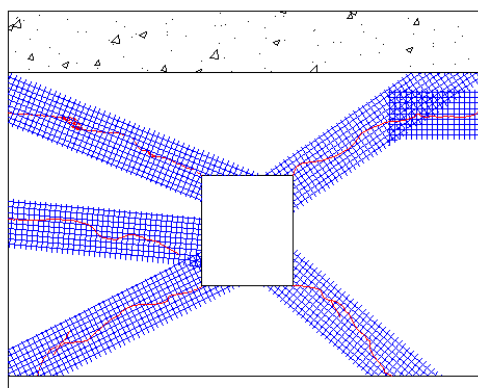
Figura 57 - Processo de selagem: a) Abertura das fissuras b) Selagem com argamassa de cal

O processo de injeção é feito através dos tubos, com o auxílio de um compressor (Figura 58).

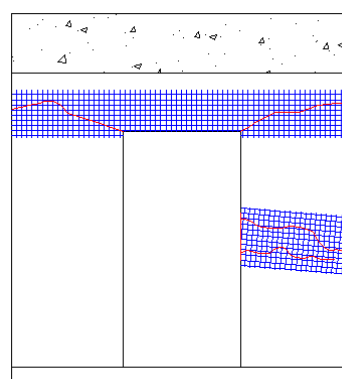


Figura 58 - Processo de injeção

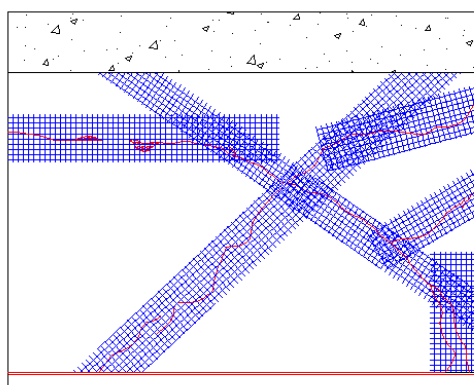
Após o processo de cura e respetiva picagem do reboco será aplicada a rede geossintética de confinamento das microfissuras das áreas envolventes.



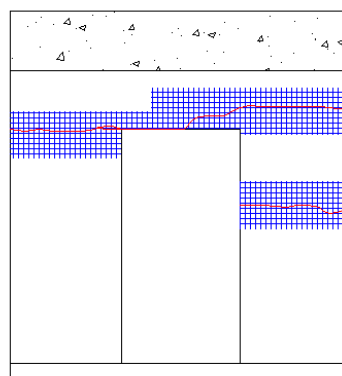
a)



b)



c)



d)

Figura 59 - Reparação do modelo com rede geossintética: a) Fachada Sul b) Fachada este c) Fachada Norte  
d) Fachada Oeste

A aplicação desta rede cinge-se apenas à sobreposição das fissuras no interior e no exterior do modelo. A largura abrange cerca de 20cm para ambos os lados, permitindo assim o confinamento da área envolvente às fissuras.

Na fase de reforço será implementada uma solução capaz de oferecer o incremento da capacidade de absorção de cargas. Pretende-se sobretudo um reforço nas zonas mais suscetíveis a concentração de tensões, como é o exemplo da janela e das padieiras das portas e zonas de ligação entre panos. A rede é aplicada em conjunto com as buchas

plásticas, as cantoneiras em PVC e respectivas amarrações com fio de *nylon*, e depois é tudo rebocado, ficando com o acabamento igual ao primeiro ensaio. Ao fim do processo de cura estará apto para realizar o segundo ensaio.

---

## *Capítulo 6*

### *Considerações Finais*





## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento frágil que se tem verificado para as estruturas de alvenaria de adobe é uma problemática corrente das construções existentes face a ações sísmicas. Nesta investigação, onde se pretendeu caracterizar o comportamento de construções em alvenaria de adobe, foi possível observar os pontos frágeis, os limites de resistência e a deformação de um modelo à escala real sob ação de cargas horizontais. Com o objetivo de caracterizar estruturas de adobe, o estudo do seu comportamento perante uma solicitação sísmica é fundamental, dando respostas ao desenvolvimento científico na área da alvenaria de terra.

O modelo estudado foi construído procurando a maior aproximação possível das características da construção do século XX na região de Aveiro, desde os blocos de adobe, às argamassas, às técnicas e métodos de execução. Foi possível caracterizar os níveis máximos de deformação admissível e os modos de rotura correspondentes no modelo de adobe estudado. Os resultados obtidos mostram que a estrutura alcançou uma tensão máxima de 44.5 kPa com um *drift* correspondente de 0.052%, registando no final uma tensão residual de 35.0 kPa, menos 21.4% que a tensão máxima. Relativamente às frequências do modelo, estas sofreram um decaimento de 20Hz na direção perpendicular à aplicação da carga e de 30Hz na direção paralela, isto devido aos danos acumulados ao longo de ensaio. O comportamento no plano das paredes (Norte e Sul) revela que estas tiveram um deslocamento linear deixando de se verificar após a rotura do modelo, à semelhança do levantamento pela base. As fissuras que revelam danos acentuados apresentam uma forma de “X” em ambas as fachadas, tendo as da fachada Sul propagado inicialmente pela zona da janela, onde ocorrem concentrações de tensões.

Os resultados obtidos contribuem essencialmente para o desenvolvimento de técnicas de avaliação de segurança de estruturas em adobe, podendo ser utilizados em ferramentas numéricas baseadas no método dos elementos finitos, tanto na caracterização como na calibração dos modelos, com vista à melhoria da descrição do comportamento das

construções, de uma rigorosa avaliação da segurança estrutural, de interpretação das patologias estruturais mais comuns e do dimensionamento de eventuais soluções de reforço adequadas.

### **6.1 Trabalhos Futuros**

Dada a importância histórica, cultural e arquitetónica dos edifícios antigos de alvenaria de terra, e face aos resultados apresentados ao longo desta dissertação, será pertinente realizar o ensaio a este modelo com a devida solução de reforço aplicada. Após o ensaio sugere-se a continuação do comparativo com a parede em I, ao qual foi reforçada de forma idêntica. Aponta-se para o desenvolvimento comparativo com um modelo numérico que represente o real comportamento estrutural de ambas as estruturas, permitindo ajustar e avaliar a segurança da estrutura existente, facilitando o dimensionamento de reforço para outros modelos.

Numa tentativa de tornar o conceito de reforço sísmico uma prática recorrente na reabilitação e reconstrução de edifícios sugere-se o desenvolvimento de técnicas simples, eficazes e de fácil aplicação, recorrendo a campanhas de ensaios com diversos materiais comuns do mercado da construção em paredes de alvenaria de terra, estudando a sua relação entre a eficácia e a viabilidade.

Para que tudo isto possa ser desenvolvido é necessário um grande investimento na investigação científica, que pode ser atingido convertendo as campanhas experimentais de laboratório, em soluções com uma forte presença na área da construção civil, uma vez que o investimento nesta área da prevenção sísmica poderá no futuro salvar vidas.

---

## ***Referências Bibliográficas***



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FIGUEIREDO A, Varum H, Costa A, Silveira D, Oliveira C, *Seismic Retrofitting solution of an adobe masonry wall*, Material and Structures – Vol. 46, pp. 203-219, Springer, 2013;
- [2] VARUM H, Costa A, Pereira H, Almeida J, Rodrigues H, *Caracterização do Comportamento Estrutural de Paredes de Alvenaria de Adobe*, Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões - Vol. 15, pp. 23-32, 2008.
- [3] FIGUEIREDO A, Varum H, Costa A, Santos M, *Reforço de Paredes de Adobe: Caracterização Experimental de uma Solução de Reforço Sísmico*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009;
- [4] VARUM H, Oliveira C, Silveira D, Figueiredo A, Costa A, Figueiredo A, *Caracterização Mecânica e Reforço de Construções em Alvenaria de Adobe*, 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, Aveiro, 2010;
- [5] PEREIRA H, *Caracterização do Comportamento Estrutural de Construções em Adobe*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008;
- [6] VARUM H, Costa A, Pereira H, Almeida J, *Comportamento Estrutural de Elementos Resistentes em Alvenaria de Adobe*, I Seminário Arquitetura e Construção com Terra no Brasil / IV Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, 2006;
- [7] COSTA A, Guedes J, Varum H, *Building Pathology and Rehabilitation Vol.2 – Structural Rehabilitation of Old Buildings*, pp. 37 – 75, Springer, 2013;

- [8] AZEVEDO H, *Reforço de Estruturas de Alvenaria de Pedra, Taipa e Adobe com Elementos de Madeira Maciça*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010;
- [9] TORGAL F, Jalali S, *Construção em Terra: O Passado, o Presente e o Futuro*, Revista Arte & Construção, pp. 52-56, Outubro de 2009;
- [10] HOUBEN H, Guillaud H, *Earth Construction - A Comprehensive Guide*, CRATerre EAG, ITDG Publishing, Londres, 1994;
- [11] BLONDET M, Torrelva D, Garcia G, *Adobe in Peru: Tradition, Research and Future. Proceedings of Modern Earth Building 2002*, International Conference and Fair, Berlin, 2002;
- [12] SILVA S, Varum H, Bastos D, Silveira D, *Arquitectura de terra – investigação e caracterização de edificações em adobe no concelho da Murtosa*, Terra em Seminário 2010. Argumentum, Lisboa, 2010;
- [13] GAZZOLA P, et al., Carta de Veneza, IIº Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos, Veneza, 1964;
- [14] YAMIN L, Philips C, Rayes J, Ruiz D, *Seismic Behavior and Rehabilitation Alternatives for Adobe and Rammed Earth Buildings*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canadá, 2004;
- [15] TORREALVA D, Neumann J, Blondet M, *Earthquake Resistant Design Criteria and Testing of Adobe Buildings*, Universidade Católica do Perú, Perú, 2006;
- [16] BARROS R, Martins J, *Reforço Sísmico de Estruturas de Alvenaria com Elementos Metálicos*, Monografia de licenciatura, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2006;
- [17] PEÑA F, Lourenço P, *Estruturas em Terra: Comportamento e Patologias*, Universidade do Minho, CEC-EST - Comunicações a Conferências Nacionais, 2006;

- [18] ARÊDE A, Costa A, Varum H, Vicente R, Pereira H, Rodrigues H, *Avaliação experimental do comportamento fora do plano de paredes de alvenaria de adobe*, V Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007;
- [19] FARIA O, Silva F, Ino, A, *Sistema Construtivos com Paredes Estruturais de Adobe em Habitação de Interesse Social Rural: Um Estudo de Caso no Assentamento Rural “Fazenda Pirituba”*, I Seminário Mato-Grossense de Habitação de Interesse Social, Brasil, 2005;
- [20] BLONDET M, Torrealva D, García G, Ginocchio F, Madueño I, *Using Industrial Materials for the Construction of Safe Adobe Houses in Seismic Areas*, PUCP, contributo em world-housing.com, Perú, 2004;
- [21] CORAZAO M, Blondet M, *Estúdio experimental del comportamiento estructural de las construcciones de adobe frente a solicitaciones sísmicas*, Banco Peruano de los Constructores, Perú, 1974;
- [22] DOWLING D, Samali B, Li J, *An improver means of reinforcing adobe walls – external vertical reinforcement*, Proceedings of SismoAdobe 2005, Peru;
- [23] APPLETON J, *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção*, pp. 99 – 109, Edições ORION, Amadora, 2003;
- [24] CAEIRO J, *Revitalización de la Tradicion constructiva en Tierra y Bambu en comunidades rurales y urbanas en Oaxaca*, X CIATTI, Valladolid – España, 2013;
- [25] ZOMÁ N, *La vivienda tradicional de adobe en los Altos de Chiapas, México: un patrimonio vivo*, X CIATTI, Valladolid – España, 2013;
- [26] MADERO J, *La tierra en la construcción de cerramientos con materiales de reciclaje*, X CIATTI, Valladolid – España, 2013.

- [27] SAMPAIO S, Gomes M, Abel A, *Aanalysis of the Earth Construction's Thermal Behavior – in situ Measurement and Evaluation of Thermal Perfomance of Three Rammed Earth Case Studies*, X CIATTI, Valladolid – Espanha, 2013
- [28] SERINO G, Basic Structural Control – Earthquake Engineering and Structural Control, Università degli Studi Féderico II, Napoli – Itália, 2011
- [29] OLIVEIRA C, Varum H, Guerreiro L, *Arte Nova em Aveiro e Sua Relação com o Adobe*, Saber fazer tradicional e materiais dominantes, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009
- [30] RILEM – Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, Mechanics of earth as a building material, pp. 459 – 461, 1997.

## ONLINE

- <http://craterre.org/> , Novembro 2012
- <http://www.world-housing.net/> , Outubro 2012
- [http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2004-1/arq\\_terra/](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2004-1/arq_terra/) , Outubro 2012
- <http://ag.arizona.edu/oals/ALN/aln47/zegarra.html#intro> , Novembro 2012
- <http://gizmodo.com/17-of-the-oldest-man-made-structures-on-earth-still-in-508293601> , Outubro 2012
- <http://whc.unesco.org/en/earthen-architecture/> , Outubro 2013
- <http://www.adobeforwomen.pt/> , Outubro 2013
- <http://ag.arizona.edu/oals/ALN/aln47/zegarra.html#intro>, Novembro 2012;
- [http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2004-1/arq\\_terra/adobe.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2004-1/arq_terra/adobe.htm), Novembro 2012;



---

***Anexos***



# Anexo A

## Blocos de Adobe

Através de uma amostra aleatória de 20 blocos de adobe, foram realizadas medições e ensaios de resistência de forma a caracterizar todos os blocos de adobe utilizados na construção do modelo.

Tabela 7 - Dimensões e peso específico dos adobes

Adobe	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Peso (Kg)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	43,30	26,50	10,70	21,58	0,0123
2	43,20	27,40	11,20	20,62	0,0133
3	43,50	27,60	10,50	20,74	0,0126
4	43,80	28,00	10,90	21,98	0,0134
5	43,80	28,20	11,10	21,94	0,0137
6	43,50	28,70	10,50	20,54	0,0131
7	43,60	27,70	10,30	21,50	0,0124
8	43,40	27,80	10,90	21,14	0,0132
9	43,30	27,30	10,80	21,62	0,0128
10	42,80	28,70	11,20	22,72	0,0138
11	43,20	28,10	10,90	23,04	0,0132
12	43,70	28,60	10,50	22,28	0,0131
13	42,30	28,00	10,70	21,14	0,0127
14	43,40	27,40	11,00	22,72	0,0131
15	43,60	28,20	10,70	21,88	0,0132
16	42,60	28,00	10,90	21,06	0,0130
17	42,30	27,80	10,70	19,48	0,0126
18	43,80	27,60	10,80	21,26	0,0131
19	42,80	28,20	11,40	22,10	0,0138
20	43,40	28,40	11,00	21,18	0,0136
Dimensões médias	43,27	27,91	10,84	21,53	0,0131

Volume médio (m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
0.013	0.00042	3.2

Peso Específico médio (kN/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
16.45	0.83	5.1

Valores de Ensaio em Compressão Simples:



Data do  
ensaio 06/11/2013

Equipamento: Máquina Universal de Ensaios  
 Marca: Shimadzu  
 Modelo: AG-IC 100kN  
 Célula de carga: 100 kN

Nome do arquivo do método: Compressao\_100kN\_Vanessa.xmai  
 Nome do arquivo do ensaio: Comp\_Adobe\_Sophie.xtai  
 Nome do produto: Blocos de Adobe

Modo de ensaio: Simples  
 Tipo de ensaio: Compressão  
 Velocidade: 500N/seg

Nome	Espessura	Largura	Altura	Máx_Força	Máx_Tensão	Ruptura_Tempo
Unidade	mm	mm	mm	N	N/mm2	seg
1	93,00	93,00	107,00	12742,20	1,47	55,40
2	97,00	98,00	110,00	12696,90	1,34	52,90
3	99,00	94,00	106,00	14717,20	1,58	59,25
4	94,00	99,00	110,00	14998,40	1,61	59,70
5	95,00	96,00	107,00	14601,60	1,60	56,95
6	94,00	93,00	109,00	17245,30	1,97	62,75
Média				14500,30	1,60	57,83
DesvioPadrão				1684,26	0,21	3,48
Variação				0,12	0,13	0,06

Valores de Ensaio em Flexão:

Nº	Comprimento	Altura	Largura	Deslocamento	Força resistente (kN)	Tração (kPa)
1	43,0	10,8	22,4	0,783	3,109	571,2
2	45,0	9,0	22,0	0,768	3,050	821,6
3	43,5	10,6	22,1	1,183	4,681	904,8
4	43,5	10,7	22,0	0,770	3,058	582,7
5	43,5	11,0	22,0	1,323	5,231	943,3
6	43,0	10,5	21,5	1,054	4,174	845,2

Resistência em tração (m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
778.1	147.6	18.9

# Anexo B

## Argamassas

Através da norma EN 1015-11 para a determinação da resistência em flexão e compressão de provetes de argamassa, seguem-se os valores registados.



Data do  
ensaio 20/03/2013

Equipamento: Máquina Universal de Ensaios  
Marca: Shimadzu  
Modelo: AG-IC 100kN  
Célula de carga: 5 kN

Nome do arquivo do método: Compressao\_5kN\_EN1015.xmai  
Nome do arquivo do ensaio: Comp\_CasaAdobe.xtai  
Nome do produto: Argamassas de cal

Modo de ensaio: Simples  
Tipo de ensaio: Compressão  
Velocidade: 50N/seg

Nome	Espessura	Largura	Altura	Máx. Força	Máx. Tensão	Ruptura_Tempo
Unidade	mm	mm	mm	N	N/mm2	seg
MA10_1	40,00	40,00	100,00	1669,22	1,04	58,05
MA10_2	40,00	40,00	100,00	1648,59	1,03	57,50
MA10_3	40,00	40,00	100,00	1638,59	1,02	55,20
MA10_1	40,00	40,00	100,00	1887,34	1,18	60,65
MA10_2	40,00	40,00	100,00	1767,66	1,10	58,75
MA10_3	40,00	40,00	100,00	1693,44	1,06	56,50
Média				1717,47	1,07	57,78
Desvio Padrão				95,13	0,06	1,88
Variação				0,06	0,06	0,03
MA1.1	40,00	40,00	100,00	1966,88	1,23	60,75
MA1.2	40,00	40,00	100,00	2143,13	1,34	65,65
MA1.3	40,00	40,00	100,00	2221,56	1,39	67,05
MA1.1	40,00	40,00	100,00	1565,78	0,98	55,00
MA1.2	40,00	40,00	100,00	1879,53	1,17	59,75
MA1.3	40,00	40,00	100,00	1911,88	1,19	61,75
Média				1948,13	1,22	61,66
Desvio Padrão				230,37	0,14	4,33
Variação				0,12	0,12	0,07
Total Média				1832,80	1,15	59,72
Total Desvio Padrão				206,75	0,13	3,77
Total Variação				0,11	0,11	0,06

Para valores em flexão:

Data do  
ensaio 20/03/2013

Equipamento: Máquina Universal de Ensaaios  
Marca: Shimadzu  
Modelo: AG-IC 100kN  
Célula de carga: 5 kN

Nome do arquivo do método Flexao\_5kN\_EN1015.xmai  
Nome do arquivo do ensaio Flex\_CasaAdobe.xtai  
Nome do produto Argamassas de cal

Modo de ensaio Simples  
Tipo de ensaio Dobr.3ptos  
Velocidade 10N/seg

Nome	Espessura	Largura	Suporte inferior	Máx_Força	Máx_Tensão	Ruptura_Tempo
Unidade	mm	mm	mm	N	N/mm2	seg
MA10_1	40,00	40,00	100,00	172,11	0,40	32,55
MA10_2	40,00	40,00	100,00	178,28	0,42	18,60
MA10_3	40,00	40,00	100,00	180,31	0,42	18,10
Média				176,90	0,41	23,08
Desvio Padrão				4,27	0,01	8,20
Variação				0,02	0,02	0,36
MA1.1	40,00	40,00	100,00	195,19	0,46	20,60
MA1.2	40,00	40,00	100,00	196,30	0,46	21,35
MA1.3	40,00	40,00	100,00	180,08	0,42	19,35
Média				190,52	0,45	20,43
Desvio Padrão				9,06	0,02	1,01
Variação				0,05	0,05	0,05
Total Média	0,00	0,00	0,00	183,71	0,43	21,76
Total Desvio Padrão	0,00	0,00	0,00	9,79	0,02	5,42
Total Variação	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,25

A granulometria da areia utilizada na argamassa é representada pelo seguinte gráfico:

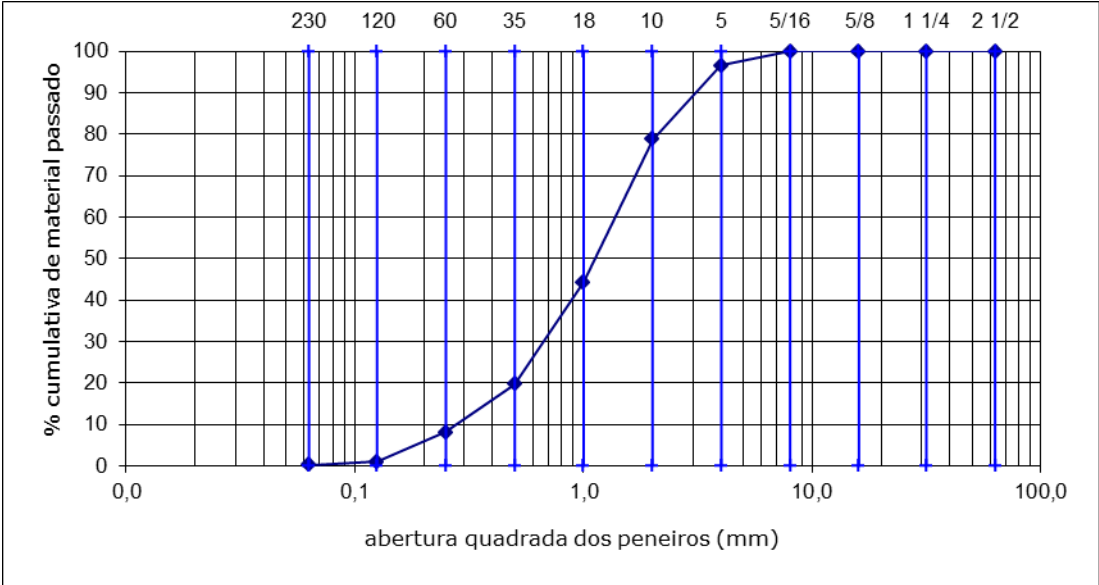


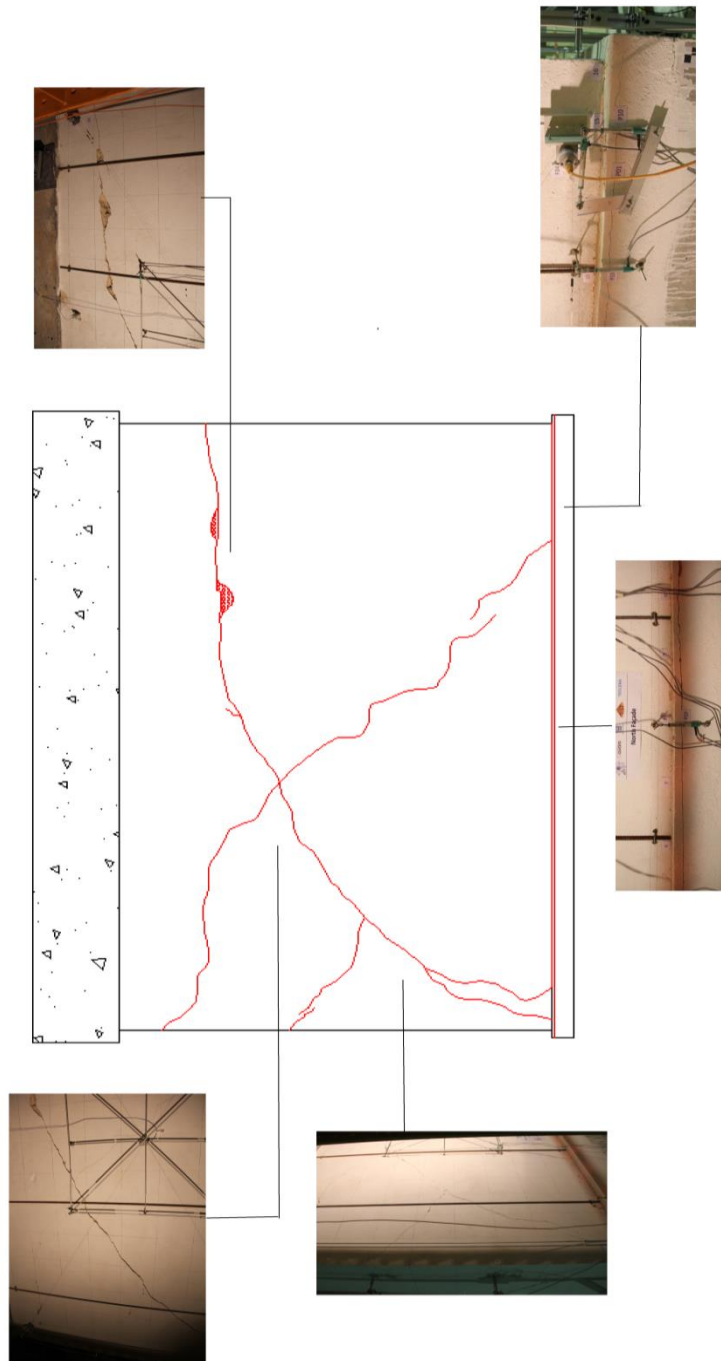
Figura 60 - Granulometria da areia



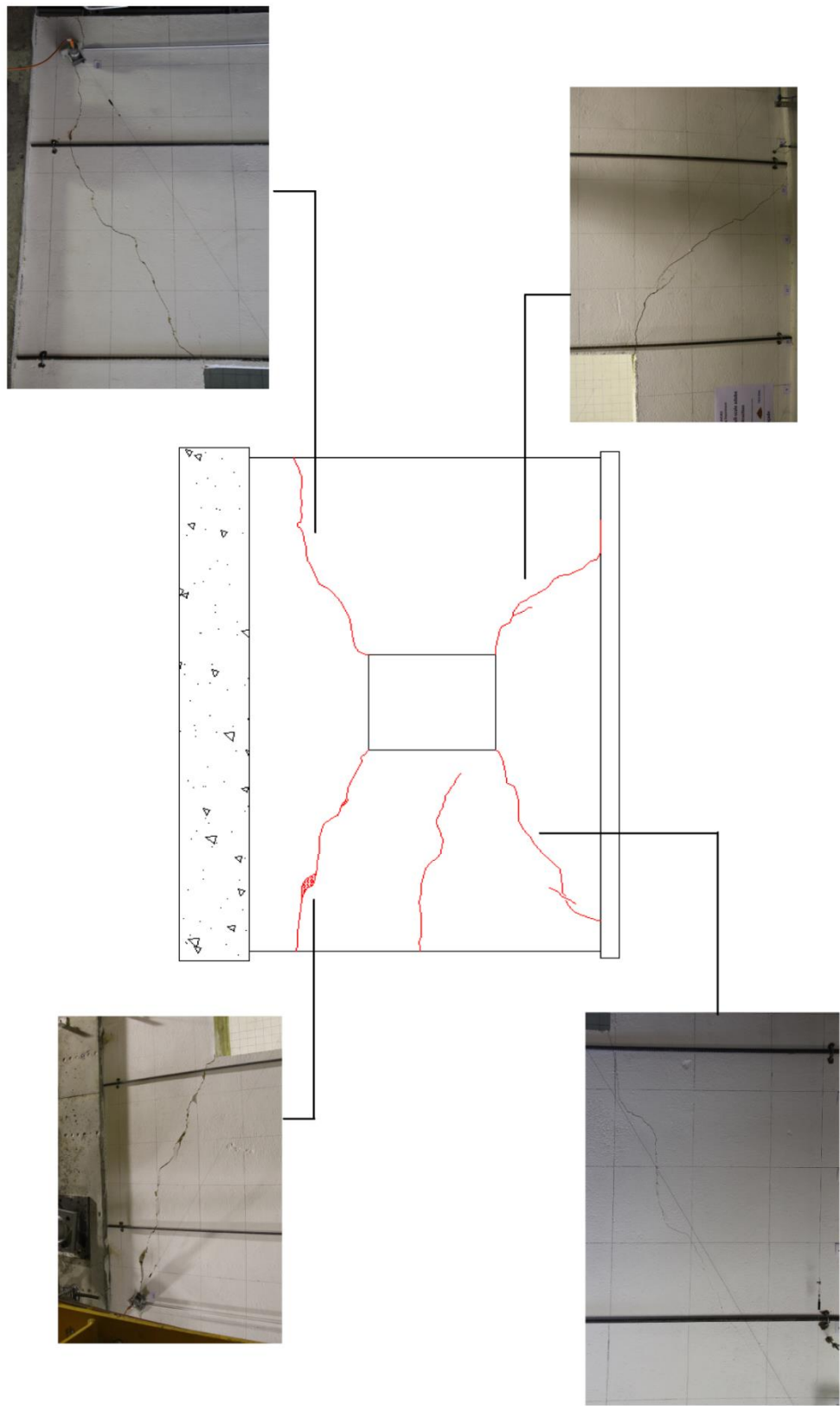
# Anexo C

## Mapa de Pormenor de Danos

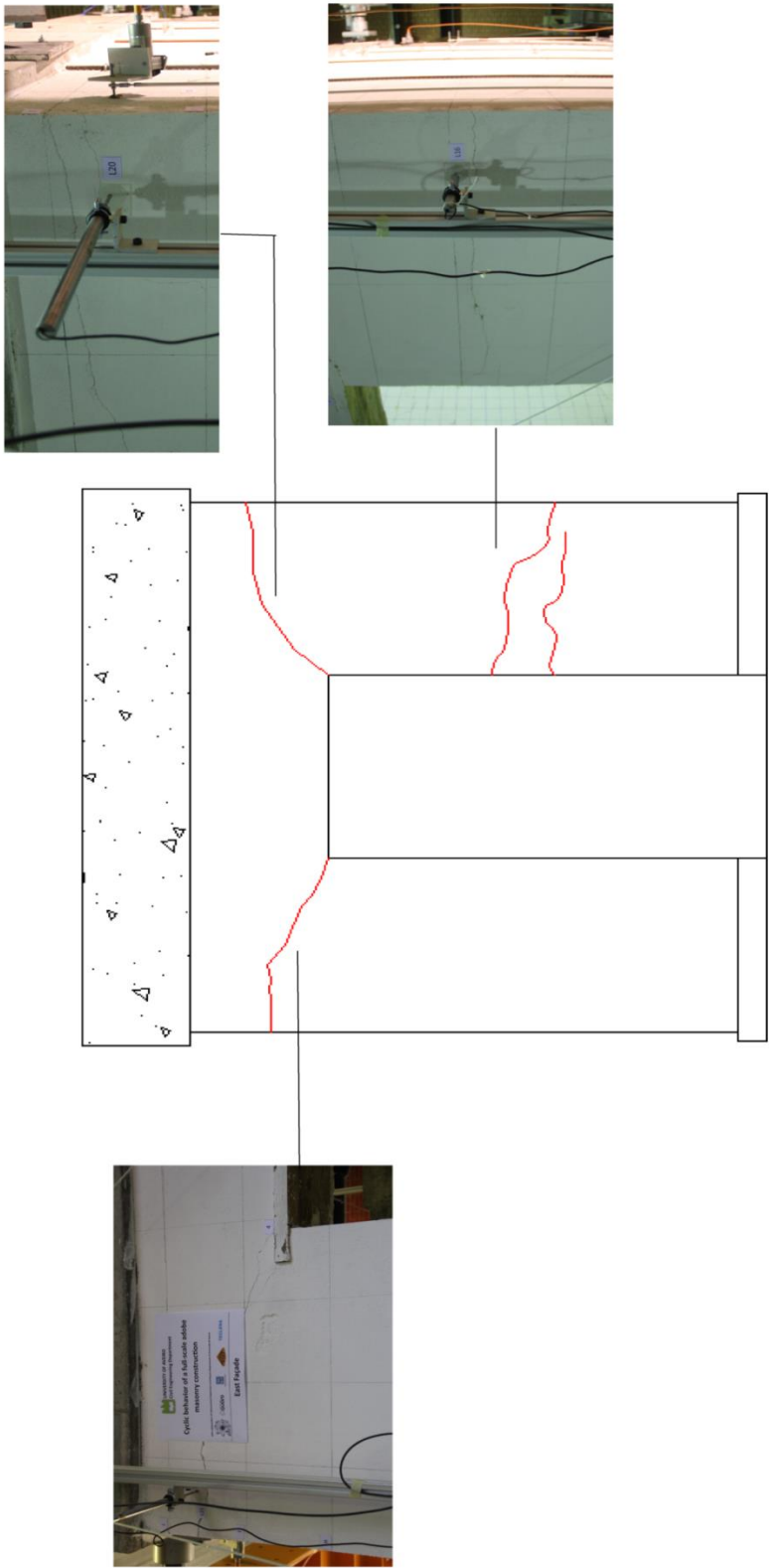
Fachada Norte



Fachada Sul



Fachada Este



## Fachada Oeste

